

**ANNALEN**  
**DER**  
**PHYSIK UND CHEMIE.**

---

**BAND LXXXIX.**

P

E

DER

NEBS

**ANNALEN**  
DER  
**P H Y S I K**  
UND  
**C H E M I E.**

---

HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN

VON

**J. C. POGGENDORFF.**

NEUN UND ACHTZIGSTER BAND.

DER GANZEN FOLGE HUNDERT UND FÜNF UND SECHSZIGSTER.

---

NEBST DREI KUPFERTAFELN UND EINER STEINDRUCKTAFEL.

---

**LEIPZIG, 1853.**

VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.

DC

1

A613

ser. 3

v. 89

copy 2



**ANNALEN**  
DER  
**P H Y S I K**  
UND  
**C H E M I E.**

---

**DRITTE REIHE.**

---

**HERAUSGEGEBEN ZU BERLIN**

**VON**

**J. C. POGGENDORFF.**

---

**NEUN UND ZWANZIGSTER BAND**

---

**NEBST DREI KUPFERTAFELN UND EINER STEINDRUCKTAFEL.**

---

**LEIPZIG, 1853.**

**VERLAG VON JOHANN AMBROSIOUS BARTH.**

ANNALES

DES

P. H. Y. S. I. K.

ET

CHEMIE

DE LA

UNIVERSITE DE PARIS

PAR

J. C. BOGENDORFF

DE LA FACULTE DE MEDECINE

DE LA FACULTE DE MEDECINE

LEIPZIG 1868

VERLAG VON F. A. BROCHHAUS

Stachs  
Replacement  
3-7-60  
Gassschall  
"Replacement"

## Inhalt

des Bandes LXXXIX der Annalen der Physik und Chemie.

### Erstes Stück.

	Seite
I. Ueber Pseudomorphosen, nebst Beiträgen zur Charakteristik einiger Arten derselben; von Th. Scheerer. . . . .	1
II. Ueber eine neue Oxydationsstufe des Wasserstoffs und ihr Verhältniß zum Ozon; von M. Baumert. . . . .	38
III. Zweiter Beitrag zur Katoptrik und Dioptrik krystallinischer Mittel mit einer optischen Axe; von A. Beer. . . . .	56
IV. Zur Theorie der Farbenmischung; von H. Graßmann. . . . .	69
V. Ueber die Diathermansie des Steinsalzes, Schreiben an Hrn. A. v. Humboldt von M. Melloni. . . . .	84
VI. Ueber die Stellung von Legirungen und Amalgamen in der thermoelektrischen Spannungsreihe; von W. Rollmann. . . . .	90
VII. Ueber die Geschwindigkeit des Schalls; von A. Bravais. . . . .	95
VIII. Verfahren, die Schwingungen eines elastischen Stabes sichtlich und zählbar zu machen; von Montigny. . . . .	102
IX. Ueber die isomerischen Modificationen des Schwefelantimons; von H. Rose. . . . .	122
X. Ueber die Trennung der Thonerde vom Chromoxyd; von Dexter. . . . .	142

## VI

	Seite
XI. Ueber die Zusammensetzung des nordamerikanischen Spodumens; von C. Rammelsberg. . . . .	144
XII. Ueber die Verbindungen der beiden Säuren des Selen mit den beiden Quecksilberoxyden, und das natürliche selenigsaure Queck- silberoxydul (Onofrit); von F. Köhler. . . . .	146
XIII. Ueber eine elektromagnetische Maschine mit oscillirendem An- ker; von C. A. Grüel. . . . .	153
XIV. Bemerkungen in Beziehung auf die Temperaturverhältnisse des Peißenberges; von H. Schlagintweit. . . . .	159
XV. Der goldene Fisch; von P. Riefs. . . . .	164
XVI. Ueber die Stokes'schen Phänomene; von L. Moser. . . . .	165
XVII. Erklärung der Verstärkung, die das durch einen galvanischen Funken verursachte Geräusch erleidet, wenn der Strom unter ge- wissen Umständen unterbrochen wird; von P. L. Rijke. . . . .	166
XVIII. Ueber die Inductions-Elektrismaschinen und ein leichtes Mit- tel zur Erhöhung ihrer Wirksamkeit; von Fizeau. . . . .	173
(Geschlossen am 7. Mai 1853.)	

## Zweites Stück.

I. Ueber die Wanderungen der Ionen während der Elektrolyse. Erste Mittheilung von W. Hittorf. . . . .	177
II. Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in kör- perlichen Leitern, mit Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche; von H. Helmholtz. . . . .	211
III. Ueber die epoptischen Farben der einaxigen Krystalle in circu- lar-polarisirtem Lichte; von E. Vilde. . . . .	234
IV. Ueber eine neue Anwendung der stroboskopischen Scheiben; von W. Rollmann. . . . .	246
V. Ueber die von Hrn. Dr. Herapath und Hrn. Prof. Stok	

## VII

	Seite
in optischer Beziehung untersuchte Jod-Chinin-Verbindung von W. Haidinger. . . . .	250
VI. Ueber die Luft-Elektricität; von F. Dellmann. . . . .	258
VII. Zur Theorie des Dellmann'schen Elektrometers; von J. A. W. Röber. . . . .	283
VIII. Chemisch-mineralogische Mittheilungen; von E. E. Schmid. Ueber die basaltischen Gesteine der Rhön . . . . .	291
IX. Ueber die Verbindungen des Schwefelantimons mit Antimon- oxyd; von H. Rose. . . . .	316
X. Ueber die Absorption des polarisirten Lichts in doppeltbrechenden Krystallen als Unterscheidungsmittel ein- und zweiaxiger Krystalle, und eine Methode dieselbe zu messen; von H. W. Dove. . . . .	322
XI. Untersuchungen über die specifischen Wärmen der elastischen Flüssigkeiten; von V. Regnault. . . . .	335
XII. Temperatur in der Tiefe des artesischen Brunnens zu Mondorf; von Wwalferdin. . . . .	349
XIII. Notiz zur Stereoskopie; von W. Rollmann. . . . .	350
XIV. Ueber die Interferenz des polarisirten Lichts; von E. E. Schmid. . . . .	351
XV. Ueber die Geschichte der Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit; aus einem Briefe an Hrn. Dr. W. Erler von Al. von Hum- boldt. . . . .	352
(Geschlossen am 7. Juni 1853.)	

### Drittes Stück.

I. Ueber einige Gesetze der Vertheilung elektrischer Ströme in kör- perlichen Leitern, mit Anwendung auf die thierisch-elektrischen Versuche; von H. Helmholtz (Schluß). . . . .	353
II. Ueber die Temperaturveränderungen, welche ein galvanischer Strom beim Durchgange durch die Berührungsfläche zweier heterogenen Metalle hervorbringt; von G. v. Quintus Icilius. . . . .	377

## VIII

	Seite
III. Ueber die epoptischen Farben der einaxigen Krystalle im circular-polarisirten Lichte; von E. Wilde (Schluss). . . . .	402
IV. Ueber einige der optischen Erscheinungen, welche den Aufgang der Sonne begleiten; von Dufour. . . . .	420
V. Ueber die Strahlen, die ein leuchtender Punkt beim Senken der Augenlieder im Auge erzeugt; von H. Meyer. . . . .	429
VI. Ueber die Erwärmung und Abkühlung, welche die permanenten Gase erfahren, sowohl durch Compression und Dilatation, als auch durch Berührung mit Körpern von verschiedener Temperatur; von J. H. Koosen. . . . .	437
VII. Ueber einige Erscheinungen an Flüssigkeiten, die um eine verticale Axe rotiren; von Reusch. . . . .	468
VIII. Ueber den Einfluss des Wassers auf die chemischen Zersetzungen; von H. Rose. . . . .	473
12. Ueber die Verbindungen der Borsäure und des Wassers mit dem Eisenoxyd. . . . .	
IX. Ueber einen neuen Eisensinter von Obergrund bei Zuckmantel; von E. F. Glocker. . . . .	482
X. Große Meerestiefe, gemessen von H. M. Denham. . . . .	493
XI. Ueber die specifische Wärme des rothen Phosphors; von V. Regnault. . . . .	495
(Geschlossen am 4. Juli 1853.)	

## Viertes Stück.

I. Ueber die Wärme-Leitungsfähigkeit der Metalle; von G. Wiedemann und R. Franz . . . . .	497
II. Vergleichung der Werthe der Winkel der optischen Axen, die aus directen Messungen der scheinbaren Axen folgen, mit den aus den Brechungscoefficienten berechneten für Arragonit und Schwerspath; von J. C. Heusser. . . . .	532

# IX

	Seite
III. Ueber die sphärische Abweichung des menschlichen Auges; von H. Meyer. . . . .	540
IV. Ueber einige Stellen der Schrift von Helmholtz »über die Er- haltung der Kraft«; von R. Clausius. . . . .	568
V. Ueber die Zusammensetzung des Rindstalg; von VV. Heintz. .	579
VI. Beiträge zu einer Aërographie; von Dr. Friedmann. . . .	591
VII. Neue Beobachtungen über das Neef'sche Lichtphänomen; von G. Osann. . . . .	600
VIII. Ueber die Verdichtung der Gase an der Oberfläche glatter Kör- per; von G. Magnus. . . . .	604
IX. Ueber das Gedächtniß für Linear-Anschauungen; von F. He- gelmaier. . . . .	610
X. Beobachtung eines Irrlichts; von E. Knorr. . . . .	620
XI. Der Höhenrauch ist Rauch, eine Folgerung aus Beobachtungen der Luft-Elektricität; von F. Dellmann. . . . .	625
XII. Neuere Versuche über die innere Dispersion des Lichts; von G. G. Stokes. . . . .	627

(Geschlossen am 3. August 1853.)

### Nachweis zu den Kupfertafeln.

---

- Taf. I. — Baumert, Fig. 1, 2 u. 3, S. 43 bis 45; Fig. 4, S. 44; Fig. 5, 6 u. 7, S. 52. — Beer, Fig. 8, S. 56; Fig. 9, 10 u. 11, S. 58; Fig. 12, S. 59; Fig. 13, S. 62; Fig. 14, S. 63; Fig. 15, S. 66. — Graßmann, Fig. 16, S. 76; Fig. 17, S. 78; Fig. 18, S. 82. — Friedmann, Fig. 19, S. 599.
- Taf. II. — Hittorf, Fig. 1, S. 180 u. 181; Fig. 2, S. 181; Fig. 3, S. 182 u. 186; Fig. 4, S. 187; Fig. 5, S. 189. — Rollmann, Fig. 6 u. 7, S. 248; Fig. 8, S. 249. — Wilde, Fig. 9, S. 235; Fig. 10, S. 236; Fig. 11, S. 237; Fig. 12, S. 239; Fig. 13, S. 241 u. 409; Fig. 14, S. 402; Fig. 15, S. 408; Fig. 16 u. 17, S. 413; Fig. 18, S. 414, 415 u. 417; Fig. 19, S. 420.
- Taf. III. — Dellmann, Fig. 1, S. 259. — Meyer, Fig. 2, S. 429; Fig. 3, S. 431; Fig. 4, S. 434; Fig. 5, S. 432 u. 434; Fig. 6, S. 434; Fig. 7, S. 436. — Meyer, Fig. 8, S. 542; Fig. 9, S. 545; Fig. 10, 11 u. 12, S. 547; Fig. 13, S. 548; Fig. 14, S. 557; Fig. 15 u. 16, S. 559; — Osann, Fig. 17, S. 601; Fig. 18, S. 603.
- Taf. IV. — Steindrucktafel zum Aufsatz von Wiedemann und Franz gehörig, S. 519.
-



I. *Ueber Pseudomorphosen, nebst Beiträgen zur  
Charakteristik einiger Arten derselben;  
von Th. Scheerer.*

Während die Pseudomorphosen, in den oryktognostischen Lehrbüchern wie in den Mineralien-Sammlungen, ehemals nur einen beiläufigen Appendix bildeten, so zu sagen ein verwahrlostes Häuflein curiöser Mißgeburten, welches mit mehr Verwunderung als Nutzen betrachtet wurde, sind dieselben in neuerer Zeit zu einem Gegenstande großen wissenschaftlichen Interesses und eifrigen Studiums geworden. Man hat eingesehen, daß es sich hier um mehr als ein sogenanntes »Naturspiel«, daß es sich um eine ausgebreitete Naturthätigkeit handelt, welche nicht aus bloßer Laune einzelne Afterskrystalle formte, sondern mächtige Gesteinsschichten und ganze Gebirgsglieder einer durchgreifenden Umwandlung unterwarf. Was sind manche krystallinische (Gneus-, Glimmerschiefer-, Marmor-) Schichten mit ihren mannigfaltigen — sogenannten accessorischen — Mineral-Einschlüssen wohl anders als Aftersbildungen im großen Maafsstabe? Jene Schichtform kommt ihnen als krystallinischen Gesteinen eben so wenig zu, als jene Mineral-Einschlüsse ihnen als geschichteten d. h. sedimentären Gebirgsarten angehören. Gneus-, Glimmerschiefer- und Marmor-Schichten stellen sich gewissermaßen als Pseudomorphosen von Thon- und Kalkstein-Schichten dar; und selbst was wir Granit und Urkalk nennen, ist mitunter weiter nichts als ein auf der höchsten Stufe des Metamorphismus stehendes sedimentäres Gebilde. Der Metamorphismus, welcher eine der Hauptfragen der neueren Geologie ausmacht, findet in der Oryktognosie

seinen Reflex als Pseudomorphismus. Die Naturkräfte, welche beiden zu Grunde liegen, sind — so weit wir dieß vor der Hand einzusehen vermögen — rein chemischer Art. Die Kette ihrer Wirkungen zu verfolgen und daraus das Endresultat der Metamorphose und Pseudomorphose abzuleiten, ist die Aufgabe des Chemikers. Allein der Chemiker kann diese Aufgabe nur lösen, wenn er hierzu vom Geognosten und Mineralogen mit den nöthigen historischen Daten versehen wird. Jene Kette der Wirkungen ist überall mit geognostischen und oryktognostischen Thatsachen verknüpft, und der chemische Erklärungsversuch — wenn derselbe mehr als Hypothese seyn soll — muß stets von diesen Thatsachen ausgehen und von ihnen geleitet werden.

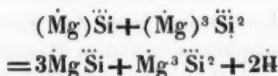
Die geologische Geschichte ausgedehnter Gesteinsmassen oder ganzer Gebirgsglieder aus ihrem gegenwärtigen geognostischen Auftreten und ihrer jetzigen petrographischen Beschaffenheit herauszulesen, ist aber oftmals selbst für die gründlichste Beobachtung und den durchdringendsten Scharfblick ein Problem, welches der Hypothese nur allzu großen Spielraum übrig läßt. In solchem Falle vermag dann auch der Chemiker keinen festen Fuß zu fassen, weil ihm keine feste Basis geboten wird. Daher die Proteusgestalt der Theorien, welche sich des Metamorphismus zu bemächtigen suchten. Wasser, Feuer, mechanischer Druck, Elektrizität und auch noch eine und die andere anonyme Kraft sind die sehr heterogenen Elemente, welche bei den verschiedenen Erklärungs-Versuchen fungirt haben. Und selbst da, wo man ein anscheinend befriedigendes Resultat hierdurch erreichte, blieb dieß selten lange unangetastet. Das auf plutonischem Wege aufgeführte Gebäude des Granits hat man von gewisser Seite her wieder einzureißen und — *ad undas* zu führen gesucht!

Die Grofsartigkeit vieler geognostischer Verhältnisse und die theilweise Unzugänglichkeit ihrer Contouren — worin eine der Hauptschwierigkeiten besteht, die sich der genauen Erforschung der Metamorphose entgegenstellen —

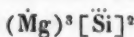
schrumpfen bei der Pseudomorphose zu einem bequemerem Beobachtungsfelde zusammen. Der pseudomorphe Krystall kann hier zum Schlüssel werden, welcher uns ins Innere einer Gesteins-Metamorphose zu dringen verhilft. In dieser Möglichkeit, zur Aufschliessung des geologischen Chemismus beizutragen, liegt eine Wichtigkeit der Pseudomorphosen, wie sie bereits von Haidinger, Bischof, Blum, Dana u. A. erkannt und hervorgehoben worden ist. Und als unmittelbare Folge davon ergiebt sich die Anforderung: bei unseren Versuchen, die Genesis der Pseudomorphosen zu enthüllen und dadurch zugleich den Schleier der Metamorphose zu lüften, mit möglichster Umsicht und schärfster Kritik zu Werke zu gehen. Wenn man früher nicht immer streng nach diesem Grundsatz gehandelt hat, so läßt sich das bei der Jugendlichkeit dieser Forschungsrichtung entschuldigen. Noch ist keine lange Zeit verstrichen, seitdem wir die Pseudomorphosen aus dem Raritäten-Cabinet ins System der Wissenschaft übergeführt haben — manches Gute blieb hierbei zurück und manches Mittelmässige wurde eingeordnet. Erst durch Landgrebe's, besonders aber durch Blum's ebenso mühevollen als verdienstliche Arbeiten wurde das zahlreiche Corps der Pseudomorphosen in übersichtlicher Weise vor uns aufgestellt. Es ist nicht meine Absicht, dasselbe hier einer speciellen Musterung zu unterziehen: doch sey mir gestattet, einige flüchtige Blicke darauf zu werfen.

Blum ordnet die ganze bunte Menge der Afterbildungen in zwei große Abtheilungen: in *Umwandlungs-* und in *Verdrängungs-Pseudomorphosen*. Eine solche Eintheilung setzt voraus, daß man mit der Genesis der Pseudomorphosen bereits bis zu einem gewissen Grade im Klaren sey, nämlich so weit, um mit Sicherheit zwischen den Producten einer chemischen Umwandlung und einer mehr oder weniger mechanischen Nachbildung entscheiden zu können. Ist dies aber wohl in allen Fällen möglich? Das Recht daran zu zweifeln erscheint groß. Blum betrachtet z. B. sämtliche Afterbildungen von Speckstein (und speckstein-

ähnlichen Substanzen) nach Bitterspath, Spinell, Quarz, Andalusit, Chiasolith, Topas, Feldspath, Glimmer, Wernerit, Turmalin, Staurolith, Granat, Idokras, Augit — als *Umwandlungs*-Pseudomorphosen. Bischof<sup>1)</sup> ist anderer Meinung; er hält es mit Recht für wahrscheinlicher, daß diese Bildungen, oder doch viele derselben, bloße *Verdrängungs*-Pseudomorphosen seyen. Das bekannte, zuerst von Nauck<sup>2)</sup> ausführlich beschriebene Vorkommen des Wunsiedler Specksteins zeugt unverkennbar für die letztere Ansicht, zu deren Gunsten sich auch Nauck ausspricht. Wir finden bei Wunsiedel (Göpfersgrün) Bitterspath und Quarz, in unmittelbarster Nachbarschaft neben einander, in *ein und dieselbe Substanz*, einen Speckstein (mikroskopisch feinblättrigen Talk) von der Zusammensetzung



umgewandelt<sup>3)</sup>. Daß diese Umwandlung auf nassem Wege geschah, läßt sich wohl kaum bezweifeln. Welche eigenthümliche Flüssigkeit hätte es aber seyn müssen, die es vermocht hätte, mit *Bitterspath ganz dasselbe präcipitirte Zersetzungs-Product zu liefern wie mit Quarz?* — Die directe Entstehung des Specksteins, d. h. sein unmittelbares Absetzen aus einer Solution, wird überdies noch durch einen anderen Umstand — wenn auch nur in einer Analogie bestehend — wahrscheinlich. Ich habe früher gezeigt<sup>4)</sup>, daß sich aus den Grubenwässern einer Arendaler Eisensteingrube ein talkartiges Mineral, der Neolith, in großer Menge absetzt, dessen chemische Constitution der Formel



1) Lehrb. d. chem. u. phys. Geol. Bd. 1, S. 789 und 794; Bd. 2, S. 188.

2) Pogg. Ann. Bd. 75, S. 129.

3) Beiträge zur näheren Kenntniß des polymeren Isomorphismus. Pogg. Ann. Bd. 84, S. 359.

4) Pogg. Ann. Bd. 71, S. 285.

entspricht; und dafs dieses jugendliche Gebilde allem Anscheine nach in Folge der, unter hohem Druck vor sich gegangenen, Auslaugung eines augitreichen Gesteins durch die kohensäurehaltigen Grubenwässer entstand. Die bei diesem geo-chemischen Prozesse entwickelte, sehr beträchtliche Kohensäuremenge läßt sich von Kalkspathmassen herleiten, welche in der Nachbarschaft jenes Gesteins vorkommen. Ein Mineral von derselben chemischen Constitution wie der Arendaler Neolith, aber von mehr speckstein- als talkartigem Habitus, findet sich als Ausfüllungsmasse von — ehemals theils wohl mit Kalkspath, theils mit anderen Mineralien erfüllt gewesenen — Mandelräumen des Basalts der Stoppelskuppe bei Eisenach, und unter gleichen Verhältnissen wahrscheinlich noch in vielen anderen Basalten <sup>1)</sup>). Wenn es hiernach das Ansehen gewinnt, dafs unter besonderen Umständen aus *augitischen* Gesteinen gewisse ihrer Bestandtheile ausgelaugt, und aus dieser Solution als ein talk- oder specksteinartiges Mineral von der *Augit*-Formel  $(\text{Mg})^3\ddot{\text{Si}}^2$  abgesetzt werden können, sollte es da ein zu gewagter Sprung der Analogie seyn, anzunehmen: dafs der Wunsiedler Speckstein von der *Amphibol*-Formel  $(\text{Mg})\ddot{\text{Si}} + (\text{Mg})^3\ddot{\text{Si}}^2$  auf ähnlichem Wege aus *amphibolitischen* Gesteinen — vielleicht aus dem dort mit Glimmerschiefer und Thonschiefer wechsellagernden Grünsteine — gebildet worden sey? Die hierzu nöthige Kohensäure würde sich aus den benachbarten, zum Theil selbst in Speckstein umgewandelten Dolomit- und Marmor-Zonen entnehmen lassen.

Blum sucht seiner Ansicht über die Bildung der Wunsiedler Speckstein-Afterkrystalle durch Aufstellung des allgemeinen Satzes zu Hülfe zu kommen: dafs Uebergänge aus einer pseudomorphirenden Substanz in die betreffende pseudomorphirte, wenn sie sich bei einer Afterbildung beobachten lassen, stets auf eine chemische *Umwandlung*, nicht

1) Pogg. Ann. Bd. 84, S. 374.

aber auf eine Verdrängung <sup>1)</sup> hindeuten. Unter jenen »Uebergängen« kann hier nichts anderes verstanden werden, als daß an einem theilweis verändertem Krystall die pseudomorphirende Substanz keine scharfen Gränzen mit der pseudomorphirten bildet, sondern daß beide, innerhalb einer Gränzzone, mehr oder weniger in einander greifen. Warum sollte dies nicht auch bei Verdrängungs-Pseudomorphosen der Fall seyn können? Nur muß man von letzteren — die keinem Zweifel unterworfenen Umbüllungs-Pseudomorphosen hier außer Betracht gelassen — zwei wesentlich verschiedene Arten unterscheiden. Bei der einen derselben wird ein von irgend einer Matrix oder Hülle umschlossener Krystall durch auflösende Agentien ganz oder theilweise aus dieser Matrix oder Hülle fortgeführt, und *darauf* erst sein zurückgelassener leerer Raum durch ein chemisches Präcipitat oder einen mechanischen Schlamm ausgefüllt <sup>2)</sup>; bei der andern Art aber gehen allmälige Auflösung des Krystalls und Absetzung des Präcipitates so gut wie *gleichzeitig* vor sich. Eine mit einer gewissen Substanz gesättigte Solution wirkt hierbei auflösend auf den Krystall, wird aber dadurch zugleich genöthigt einen entsprechenden Theil jener Substanz abzusetzen <sup>3)</sup>. Dies ist

- 1) Bei einer Umwandlungs-Pseudomorphose werden die Bestandtheile der ursprünglichen Substanz niemals sämmtlich, sondern nur zum Theil fortgeführt und mehr oder weniger durch andere Stoffe ersetzt. Aus einer Verdrängungs-Pseudomorphose dagegen ist die ursprüngliche Substanz gänzlich verschwunden, und an ihre Stelle ist eine andere Substanz getreten. Im ersten Falle findet *Veränderung der chemischen Zusammensetzung unter theilweiser Beibehaltung früherer Bestandtheile*, im zweiten Falle *Austausch der ganzen Substanz* statt.
- 2) Die Existenz dieser Art der Pseudomorphosen ist von einigen Forschern in Zweifel gestellt worden. In einem späteren Abschnitte dieser Abhandlung werde ich jedoch Thatsachen mittheilen, welche geeignet seyn dürften, diesen Zweifel zu beseitigen.
- 3) Von der Möglichkeit dieses Herganges im Allgemeinen kann man sich durch folgenden Versuch überzeugen. In einer concentrirten Gypssolution löse man so viel neutrales schwefelsaures Kali auf, als dies ohne eine beginnende Trübung jener Solution möglich ist, und bringe in diese Doppel-Auflösung einen Krystall oder eine Krystallkruste des letztge-

eine wahre Verdrängungs-Pseudomorphose, während man jene erste Art — bei welcher die ausfüllende Substanz gewissermaßen *post festum* kommt — eine *Ausfüllungs-* oder eine *Abformungs-*Pseudomorphose nennen könnte, letzteres weil sie an die gänzlich mechanische Formung eines Gypsabgusses erinnert. Bei einer Ausfüllungs-Pseudomorphose werden pseudomorphirende und pseudomorphirte Substanz mehr oder weniger scharfe Gränzen mit einander bilden; bei einer Verdrängungs-Pseudomorphose braucht dieß nicht der Fall zu seyn. Die bekannte Pseudomorphose von Steinmark nach Flußspath, welche ja Blum selbst zu den Verdrängungs-Pseudomorphosen rechnet, ist ein Beispiel letzterer Art. An den theilweis veränderten Flußspathkrystallen bilden Steinmark und Flußspath durchaus keine scharfen Gränzen, sondern Uebergänge. — Bei den Speckstein-Pseudomorphosen würden wir uns den Bildungshergang im Allgemeinen so zu denken haben, daß das kohlen säuregeschwängerte, die Bestandtheile des Specksteins aufgelöst enthaltende Wasser durch seinen Kohlensäuregehalt auflösend auf Bitterspath, Quarz u. s. w. gewirkt, und an die Stelle dieser sehr allmählig aufgelösten Mineralien gleichzeitig Speckstein abgesetzt habe. Was *in specie* die Bildung der Wunsiedler Afterkrystalle nach Quarz betrifft, so ist zu berücksichtigen, daß sich dieselben — wie auch Nauck besonders hervorhebt — niemals freistehend, sondern stets in Speckstein eingewachsen finden. Dieselben wurden also wohl zuerst — als noch unveränderte, auf Dolomit aufgewachsene Quarzkrystalle — von Specksteinmasse umschlossen, und innerhalb dieser Umhüllung ging

nannten Salzes, so wird sich fastig krystallinischer Gyps auf diese Krystalle absetzen, während dieselben zugleich hierbei theilweise gelöst werden. Nicht selten gelingt es auf diese Art, Gypshüllen ganz von der Form des schwefelsauren Kali's zu erhalten. Hier hat also das neutrale schwefelsaure Kali den Gyps aus seiner Auflösung und, *vice versa*, der Gyps das schwefelsaure Kali aus den Krystallen desselben *verdrängt*. — Schwefelsaures Natron und Gyps vermögen einander nicht in dieser Weise zu verdrängen. Eine concentrirte Gypsolution läßt sich mit schwefelsaurem Natron sättigen, ohne Gyps auszuschcheiden.

dann später die Verdrängung des Quarzes durch Speckstein vor sich, indem die Porosität der (aus zusammengehäuften, mikroskopisch kleinen, krystallinischen Talkblättchen bestehenden) Specksteinhülle eine fortdauernde Einwirkung der gedachten Wässer gestattete. Dafs der Quarz sich nicht so leicht verdrängen liefs wie Dolomit und Bitterspath, ist sehr natürlich. In einer Specksteinstufe, welche mir mein College Prof. Reich aus Wunsiedel mitbrachte, gewahrt man einige fast gänzlich unveränderte Quarzkry-  
 stalle von Speckstein umgeben.

Wohl eben so wenig richtig, wie die Aufnahme der Speckstein-Afterbildungen unter die Umwandlungs-Pseudomorphosen, erscheint die Zuzählung der pseudomorphen Ophit-Gebilde zu derselben Abtheilung; und zwar zum Theil aus ganz ähnlichen Gründen wie die zuvor angeführten. Durch das bekannte Vorkommen des Chrysotil <sup>1)</sup> und Pikrolith werden wir darauf geführt, dafs der Ophit unter gewissen Umständen in Wasser löslich sey, und sich aus dieser Lösung mit unveränderter Zusammensetzung wieder abscheiden könne. Dafür spricht die ganze Art des Auftretens dieser beiden Mineralien jüngerer Bildung — und von der chemischen Zusammensetzung des Ophit — in kleineren oder gröfseren Gang-Spalten und Trümmern des gewöhnlichen (Gebirgs-) Serpentin. Nicht selten wird der Arendaler Neolith in ganz ähnlicher Weise wie der Chrysotil angetroffen: als krystallinisch fasrige Substanz kleine Gangtrümmer und feine Sprünge im Gestein ausfüllend; und seine krystallinischen Fasern, wie beim Chrysotil, querüber von einer Gangwand zu anderen laufend. Diese für gewisse Infiltrations-Producte sehr charakteristische Structur zeigen bekanntlich mitunter auch Gyps (Fasergyps), Cölestin, verschiedene natürlich vorkommende leichtlösliche Salze, wie Eisenvitriol, Steinsalz u. s. w. Indem wir aber auf solchem Wege darauf geführt werden, ein stattgefundenes *Auflösen und Wiederabsetzen des Ophit*

1) Naumann's Elemente d. Mineralogie, 3te Auflage, S. 265, zweite Anmerkung.



anzuerkennen, gelangen wir zu der Ueberzeugung: *dafs der Ophit, analog dem Speckstein, Verdrängungs-Pseudomorphosen habe bilden können.* Granitgänge, welche in der Waldheimer Gegend im Serpentin aufsetzen, zeigen sich oftmals so zu sagen serpentinisirt, indem ihre Masse — vorzugsweise aber der Feldspath derselben — mehr oder weniger durch Serpentin verdrängt wurde. Eine beginnende Verdrängung des Feldspaths durch *Neolith* läfst sich zu Arendal beobachten.

Noch bei mehreren anderen Afterbildungen erscheint es zweifelhaft, ob die Stellung als Umwandlungs-Pseudomorphosen, welche sie in der Blum'schen Classification einnehmen, eine richtige sey; so z. B. beim Talk nach Magnesit, Chiasolith, Disthen, Couzeranit, Feldspath und Pyrop, beim Chalcedon nach Datolith, Kalkspath nach Gyps, Glimmer nach Quarz, Beryll u. s. w., ferner (in einer anderen Beziehung) beim Buntkupfererz nach Kupferglanz, Kupferkies nach Kupferglanz u. s. w. In den meisten dieser Fälle bedarf es noch wiederholter und fortgesetzter Beobachtungen, um zu einer richtigen Auffassung ihrer Genesis zu gelangen. — Keinesfalls will ich aus diesen Classifications-Differenzen, welche durch ihre Beziehungen zur Bildungsart gewisser Pseudomorphosen von Wichtigkeit sind, einen Vorwurf gegen Blum's, im hohen Grade schätzenswerthe Bemühungen ableiten; es kann mir diefs um so weniger einfallen, als ich meinen der Blum'schen Theorie hier gegenübergestellten Ansichten keine unumstößliche Gewifsheit, sondern nur eine Wahrscheinlichkeit beimesse, welche durch spätere Forschungen möglicherweise wieder abnehmen kann. Nur so viel scheint mir gewifs, dafs man bei Untersuchungen auf einem so dunklen Gebiete wie das der Pseudomorphosen nicht einseitig zu Werke gehen, sondern jeden Lichtstrahl beachten müsse, von welcher Seite derselbe auch kommen mag. Ohne daher den Zweck zu haben, gegen einzelne Forscher zu Felde zu ziehen, und ohne so manchen ausgezeichneten Leistungen auf diesem Gebiete die Anerkennung zu versagen,

sondern nur in der Absicht eine dem Gegenstande angemessene Forschungsweise zur möglichst *allgemeinen* Anwendung zu bringen, will ich mir erlauben, noch auf einige der schwachen Seiten unserer bisherigen Kenntniß mancher Pseudomorphosen aufmerksam zu machen.

Bei nicht wenigen Afterbildungen wurden die chemischen Verhältnisse nicht mit der nothwendigen Sorgfalt und Schärfe berücksichtigt. Pseudomorphe Substanzen werden mit dem Namen Speckstein, Talk, Steinmark, Serpentin u. s. w. aufgeführt, ohne daß chemische Untersuchungen hinreichend für eine solche Annahme bürgen. Bei einigen glimmerähnlichen Mineralien wird angenommen, daß sie die Zusammensetzung eines normalen Glimmers besitzen; Aehnliches geschieht beim Pinit und einigen anderen Species. Wenn es schon bei gewöhnlichen Mineralbestimmungen oftmals mißlich genug ist, Species bloß nach äußeren Charakteren erkennen zu wollen, so kann man bei Pseudomorphosen, wie die Erfahrung schon häufig gelehrt hat, hierin nicht mißtrauisch genug seyn. Der Aspasiolith-Cordierit — den auch ich in *gewisser* Beziehung für eine Art von Pseudomorphose halte — wurde mir in Norwegen von einem der ersten Auffinder desselben als eine Pseudomorphose von »Serpentin nach Quarz« gebracht. In der That haben Aspasiolith und Serpentin, trotz ihrer sehr wesentlichen chemischen Verschiedenheit, die größte äußere Aehnlichkeit mit einander. — Auch in Bezug auf die Krystallform pseudomorpher Gebilde liefse sich mehr als ein Beispiel anführen, wo man sich bei der mineralogischen Diagnose mit einer nicht eben streng nachgewiesenen Form-Aehnlichkeit begnügt hat. — Und endlich wäre es zu wünschen, daß man dem Vorkommen der Pseudomorphosen, d. h. ihren nachbarlichen Verhältnissen *in situ*, eine ganz besondere Aufmerksamkeit widme <sup>1)</sup>. —

1) Fournet, in seinem interessanten und lehrreichen Aufsatz *Histoire de la Dolomie (Extrait des Ann. de la Soc. royale d'agriculture, histoire naturelle et arts utiles de Lyon. — 1847) p. 114*, spricht sich hierüber folgendermaßen aus. »Malheureusement les pseudomor-

Indem ich in dem Folgenden einige Beobachtungen aus dem Gebiete der Pseudomorphosen mittheile, will ich dadurch besonders zeigen, daß dies Gebiet manche bisher wenig beachtete Erscheinungen in sich schließt, welche es wohl verdienten mehr berücksichtigt und näher studirt zu werden.

### I. Paramorphosen.

Der zuerst und fast gleichzeitig von Dana<sup>1)</sup> und W. Stein<sup>2)</sup> aufgestellte Begriff des Allomorphismus (Dana) oder Paramorphismus ist ein durchaus naturgemäßer. Sowohl die Chemie als die Mineralogie kennt Krystallgebilde, welche diesem Begriffe entsprechen. Eins der instructivsten Beispiele einer Paramorphose bietet uns der Schwefel. Die *monoklinoëdrischen* Schwefelkrystalle verlieren bekanntlich ihre Durchsichtigkeit sehr bald, indem sie sich — unter Beibehaltung ihrer äußeren Form — in ein krystallinisches Aggregat von *rhombischem* Schwefel umwandeln<sup>3)</sup>. Ein derartig veränderter Krystall ist insoweit eine Pseudomorphose, als sich in ihm *rhombischer Schwefel* in der äußeren Form des *monoklinoëdrischen Schwefels* darstellt. Allein er weicht darin von jeder gewöhnlichen Umwandlungs-Pseudomorphose ab: daß bei jener Umwandlung ein wägbarer Stoff weder aus ihm entfernt, noch von ihm aufgenommen wurde. Unter Paramorphose verstehen wir

*phoses n'ont pas toujours été soumises à des essais convenables; on leur devait au moins l'honneur d'un coup de chalumeau, et l'on a trouvé plus commode de s'en tenir aux caractères extérieurs si souvent trompeurs. En outre, ici comme dans d'autres circonstances, les collecteurs de ces sortes de produits n'ont pas assez tenu compte de leurs associations; ils ne se sont presque jamais inquiétés de faire l'histoire de la localité, histoire qui ne peut guère se déduire de l'aspect des échantillons.* Wenn auch dieser Ausspruch für die Gegenwart zu streng seyn mag, so ist jedenfalls auch jetzt noch so manches Wahre darin.

1) Silliman's Journ. Vol. 48, p. 81.

2) v. Leonhard und Bronn's Jahrb. 1845, S. 395.

3) Marchand und Scheerer, über den Dimorphismus des Schwefels, in Erdm. Journ. f. prakt. Chem. Bd. 24, S. 129.

daher das Product einer bloßen, *innerhalb der Gränzen des betreffenden Krystalls* vorgegangenen Atom-Umsetzung, während jede andere Pseudomorphose durch eine *über jene Gränzen hinausgehende Atom-Wanderung* entstand. Diesen Begriffs - Unterschied festzuhalten, dürfte nicht unwichtig seyn. Es wird dadurch der erste Lichtstrahl auf einige der räthselhaftesten Pseudomorphosen geworfen, deren Verhältnisse des Vorkommens eine *Stoff-Wanderung* als völlig unerklärlich erscheinen lassen.

Paramorphosen kommen, was *künstlich* erzeugte Krystalle betrifft, aufser beim Schwefel, noch bei einigen anderen dimorphen Körpern vor, wie z. B. bei der arsenigen Säure und dem Jodquecksilber.

Von *paramorphen Gebilden des Mineralreichs* ist Folgendes anzuführen. *Kalkspath nach Arragonit*. Aus Kalkspath bestehende, aber äußerlich in der Arragonitform auftretende Krystalle wurden zuerst von Mitscherlich, später mehrfach von Haidinger beobachtet. G. Rose wies durch Versuche nach, daß Arragonit durch schwache Rothglühhitze sich in Kalkspath umwandelt. *Strahlkies nach Schwefelkies*, aus der Braunkohlenformation von Liebnitz in Böhmen, hat Blum, und *Schwefelkies nach Strahlkies*, von Rodna in Siebenbürgen, hat Sillem beschrieben. Das Nähere über diese drei Gebilde findet man in Blum's bekanntem Werke. Ferner dürften hierher gehören:

#### A. Hornblende nach Augit.

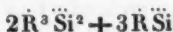
Gustav Rose's schöne Beobachtungen über den Uralit — eine Hornblende mit der äußern Form des Augit — lassen verschiedene Deutungen hinsichtlich der Entstehung dieses Minerals zu. G. Rose selbst und Blum sind geneigt, den Uralit für eine durch Austausch von Bestandtheilen vor sich gegangene Umwandlungs-Pseudomorphose nach Augit zu halten. Es wäre jedoch möglich, daß der Uralit ein paramorphes Gebilde ist; freilich alsdann ganz eigener Art. Die Hornblende-Substanz für dimorph zu erklären und anzunehmen, daß sie, aufser in ihrer gewöhn-

lichen Krystallform, unter gewissen Umständen in einer andern Form und zwar in der des Augit aufzutreten vermöge, erscheint insofern nicht verwerflich, als der Isomorphismus (Homöomorphismus) zweier Körper von einem Verhältnisse der chemischen Constitution

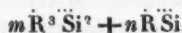
wie  $R^3 \ddot{Si}^2 + R \ddot{Si}$  (Hornblende)

zu  $R^3 \ddot{Si}^2$  (Augit)

nach jetzigen Erfahrungen nicht ohne Analogie dastehen würde. Berthier, Mitscherlich und G. Rose haben überdiess gezeigt, dafs Hornblende durch Schmelzen die Form und Structur des Augits annimmt. Rammelsberg (in seinem Handwörterbuch des chem. Theils der Mineralogie) hat schon vor längerer Zeit dargethan: dafs gewisse, ihrer äufseren und inneren Form nach, verschiedene Augite — z. B. der krystallisirte schwarze (thonerdefreie) vom Taberg, nach H. Rose's Analyse; der braune von Pargas, nach Nordenskjöld, und der schwarze aus dem Basalttuff der Azoren, nach Hochstetter — die chemische Zusammensetzung der Hornblende haben. Zugleich macht Rammelsberg darauf aufmerksam: dafs der (amphibolitische) Strahlstein aus Pensylvanien die chemische Mischung des Augit besitze. Dasselbe scheint nach meiner Beobachtung <sup>1)</sup> bei einem Schwedischen (wasserhaltigen) Strahlstein der Fall zu seyn. Wenn nun endlich Arppe gezeigt hat, dafs gewisse normal krystallisirte Hornblenden von Gulsjö, Fahlun und Cziklowa nach der Formel



zusammengesetzt sind, so erscheint es allerdings wohl nicht mehr zweifelhaft, dafs hier ein Fall des polymeren (oder heteromeren) Isomorphismus vorliegt; und dafs die Verbindung



wenigstens in den Fällen gleiche oder ähnliche Krystallform anzunehmen vermöge, in welchen:

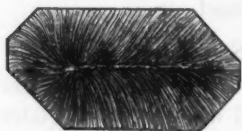
1) Pogg. Ann. Bd. 84, S. 382.

1)  $m=1, n=1$

2)  $m=1, n=0$

3)  $m=2, n=3$

Ist aber die *reciproke Isomorphie und Dimorphie des Amphibol und Augit* eine Thatsache, dann sind wir berechtigt den Uralit für eine Paramorphose in Anspruch zu nehmen. Doch würde hierbei immer ein eigenthümlicher Fall von Paramorphie obwalten; indem die Hornblende-Substanz, welche als Uralit die äussere Form des Augit angenommen hat, bei ihrer inneren Form-Veränderung zu Amphibol *sich nicht in ein Aggregat von vielen kleinen Individuen mit divergirender Axenstellung, sondern in ein einziges Individuum umgewandelt hat, dessen Axen mit der der (äusserlichen) Augitform coïncidiren*. Allein es dürften sich vielleicht auch Beispiele auffinden lassen, in denen die Paramorphie der Hornblende sich mehr oder weniger jener erstgedachten Art nähert. Ich besitze ein Stück Granit (angeblich vom Hofe Myra,  $\frac{1}{4}$  M. von Arendal), in welchem ein Krystall von folgender Beschaffenheit eingewachsen ist. Derselbe ist 1 Zoll lang und hat respective  $\frac{7}{8}$  und  $\frac{5}{8}$  Zoll im Durchmesser, zeigt die gewöhnliche äussere Gestalt des Augit  $= P. \infty P. \infty P \infty. (\infty P \infty)$ , besitzt aber dabei ganz das Ansehn einer gewöhnlichen dunkellauchgrünen Hornblende. Da das eine Ende desselben abgebrochen ist, so wird seine innere Structur bloßgelegt. Auf dieser Bruchfläche gewahrt man auf das Deutlichste eine Anord-



nung der Massentheile, wie nebenstehende Figur darstellt. Der Krystall besteht, allem Anschein nach, aus faserig krystallinischer Hornblende, deren Fasern von einem centralen Theile aus nach der Oberfläche hin laufen. Ein Paar kleine Partien desselben Minerals, welche neben dem Krystall eingewachsen sind, besitzen die nämliche Structur. Leider konnte es vor der Hand nicht zur völligen Gewissheit erhoben werden, daß man es hier wirklich mit einer, in Bezug auf ihre chemische Zusammensetzung, normalen

Hornblende zu thun habe. Beim Abschlagen eines Krystallstückes zum Behuf einer Analyse würde man Gefahr laufen, das jedenfalls interessante und einstweilen noch als *unicum* dastehende Beispiel zu zertrümmern. Jedoch ist mir nicht bekannt, daß irgendwo ein Augit nachgewiesen ist, welcher vollkommen das Aussehn der faserig krystallinischen, dunkellauchgrünen Hornblende besitzt; und überdiß wäre wohl das Auftreten eines Minerals von der Mischung des Augit in einem *quarzhaltigen* *Granit* eine ganz paradoxe Erscheinung. Immerhin kann also das angeführte Beispiel dazu dienen, die Gründe für eine Paramorphie der Hornblende zu unterstützen.

#### B. Feldspath nach Skapolith.

Eine vorläufige Mittheilung über diese, anscheinend ebenfalls in die Klasse der Paramorphosen gehörige Pseudomorphose habe ich bereits früher gegeben <sup>1)</sup>. Die genauere Untersuchung hat herausgestellt, daß zwei Arten dieser Epigenie zu unterscheiden sind, welche ich hier beschreiben will.

1) Ganz in der Nähe der Fundstätte des bekannten Apatit von Snarum in Norwegen findet sich, als untergeordnetes Glied des dort weit und breit herrschenden (Ur-) Gneuses, ein schönes krystallinisches Feldspathgestein. Granit kann man es nicht nennen, da in ihm zwar Glimmer vorhanden ist, der Quarz aber gänzlich zu fehlen scheint. Als accessorische Gemengtheile enthält es stellenweise Rutil und Apatit, ersteren mitunter in ausgezeichnet großen und schönen Krystallen. Jener Feldspath, von weißlicher Farbe, starkem Glanz und deutlichster Spaltbarkeit, findet sich stellenweise zu Krystallen von der Form quadratischer Säulen ausgebildet, welche sich besonders in dem Falle gut aus ihrer Matrix herauslösen lassen, wenn sie mehr oder weniger von Glimmer oder Apatit umgeben sind. Der schönste, scharfkantigste Krystall dieser Art,

1) Verhandl. d. Bergm. Vereins zu Freiberg, in der Berg- und Hüttenm. Zeitung, Bd. 11, S. 371. Erdm. Journ. f. prakt. Chem. Bd. 57, S. 60.

den ich hier (bereits im Jahre 1836) fand, und welcher sich jetzt in der Universitäts-Sammlung zu Christiania befindet, mag ungefähr eine Länge von  $\frac{5}{4}$  Zoll haben. Er zeigte — soweit sich dieß durch vergleichendes Visiren mit einem Skapolithkrystall bestimmen liefs — genau die gewöhnliche Form  $P. \propto P. \propto P \propto$  des Skapolith. Ein Bruchstück eines größeren, etwa 1 Zoll im Durchmesser haltenden Krystalls, welches ich noch jetzt besitze, zeigte wenigstens die quadratische Säule. Ein dritter Krystall, von der Größe des ersten und ebenfalls mit den Pyramidenflächen versehen, wurde theilweis zur näheren Untersuchung und chemischen Analyse verwendet. Ferner befinden sich mehrere Stufen in meiner Sammlung, an denen man solche Krystalle eingewachsen gewahrt. Sämmtliche diese Krystalle bestehen in ihrem Innern aus regellos mit einander verwachsenen krystallinischen Feldspathpartikeln. Bruchflächen dieser Krystalle zeigen daher gewöhnlich die Structur eines grobkörnigen Marmors; bei kleineren Krystallen läuft jedoch zuweilen eine Feldspath-Spaltungsfläche quer durch den ganzen Krystall. Zerschlägt man aber einen solchen Krystall seiner Länge nach in mehrere Theile, so findet man, daß die Spaltungsrichtungen ganz verschiedene, zur äußeren Form des Krystalls in durchaus keiner gesetzmäßigen Beziehung stehende Lagen haben. Das spec. Gew. dieses Feldspathes ist = 2,59, und seine chemische Zusammensetzung folgende:

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>
Kieselerde	66,68	66,83	
Thonerde	20,20	19,90	
Eisenoyd	0,49	0,39	20,24
Manganoxyd		0,20	
Kalkerde	1,87	1,56	1,60
Talkerde	0,46	0,39	
Natron			10,13
Wasser	0,19	0,25	

Die Analyse *a* (mittelst kohlensauren Natrons) wurde von mir in Norwegen, die Analyse *b* (auf gleiche Art) von



von meinem Assistenten Hrn. Rob. Richter und die Analyse *c* (mittelst Flusssäure) von Demselben im hiesigen akademischen Laboratorium angestellt. Da das zu den beiden letzteren Analysen verwendete Material von einem andern Stücke war, als das zur ersten Analyse verwendete, so ist es wohl am richtigsten, das Sauerstoff-Verhältniß der Bestandtheile nach *b* und *c* zu berechnen. Hierbei ergiebt sich:

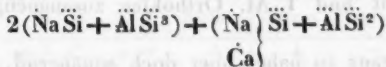
	Sauerstoff.		
Kieselerde	66,83	34,70	34,70
Thonerde	19,90	9,30	} 9,48
Eisenoxyd	0,39	0,12	
Manganoxyd	0,20	0,06	
Kalkerde	1,56	0,44	} 3,20
Talkerde	0,39	0,16	
Natron	10,13	2,60	
Wasser	0,25		
	99,65.		

Es verhält sich aber 34,70 : 9,47 : 3,20 sehr nahe wie 11 : 3 : 1, welche Proportion ein Sauerstoff-Verhältniß von 34,70 : 9,45 : 3,15

erfordert. Also besteht unser Feldspath aus 11 At.  $\text{Si}$ , 3 At.  $\text{Al}$  und 3 At.  $\text{R}$  (und zwar  $\text{Na}$  mit  $\text{Ca}$  und etwas  $\text{Mg}$ ), und führt sonach zur Formel:



die man aber auch — und zwar jedenfalls richtiger — schreiben kann:



d. h. das Mineral ist eine Feldspath-Species, welche als aus 2 Atomen Albit und aus 1 Atom Oligoklas zusammengesetzt betrachtet und daher *Oligoklas-Albit* genannt werden kann. Ein solcher Feldspath ist es also, welcher hier in der äußern Form des Skapolith auftritt. Der Schluss, welcher sich hieraus ziehen läßt, wird sich weiter unten ergeben.

Anmerkung. Wenn man die zahlreichen Feldspath-Analysen, welche der Fleiß der Chemiker in neuerer Zeit geliefert hat, aufmerksam durchgeht, so findet man, daß auch noch an anderen Fundstätten Feldspäthe vorkommen, welche als ein Oligoklas-Albit zu betrachten seyn dürften. So z. B. hat Redtenbacher <sup>1)</sup> ein *albitähnliches Mineral* aus Pensylvanien analysirt, welches im Mittel aus 3 Analysen folgendes Sauerstoff-Verhältniß giebt:

$$\begin{array}{ccc} \text{Si} & \text{R} & \text{R} \\ 34,89 & : 9,17 & : 3,33 \end{array}$$

Die Proportion 11 : 3 : 1 würde verlangen:

$$34,89 : 9,51 : 3,17.$$

Den — durch seinen bläulichen Schimmer ausgezeichneten, fälschlich Labrador benannten — *Feldspath aus dem Zirkonsyenit* von Fredriksvärn fand C. G. Gmelin <sup>2)</sup> zusammengesetzt aus: 65,19 Kieselerde, 19,99 Thonerde, 0,63 Eisenoxyd, 7,03 Kali, 7,08 Natron, 0,48 Kalkerde und 0,38 Wasser, entsprechend einer Sauerstoff-Proportion von:

$$\begin{array}{ccc} \text{Si} & \text{R} & \text{R} \\ 33,85 & : 9,53 & : 3,15 \end{array}$$

während die Proportion 11 : 3 : 1 erfordert:

$$33,85 : 9,24 : 3,08.$$

Dieser Oligoklas-Albit unterscheidet sich durch seinen beträchtlichen Kaligehalt von den zuvor erwähnten Feldspäthen dieser Art. Man kann ihn aus 1 At. Oligoklas, 1 At. Albit und 1 At. Orthoklas zusammengesetzt betrachten.

Nicht ganz so nahe, aber doch annähernd, stimmt die Zusammensetzung eines von Schnedermann <sup>3)</sup> analysirten *glasigen Feldspathes* von Dransfeld bei Göttingen mit der des Oligoklas-Albit überein:

1) Pogg. Ann. Bd. 52, S. 468.

2) Ebend. Bd. 81, S. 311.

3) Stud. d. Gött. Ver. Bd. 5, Heft 1. — Rammelsberg's Handwörterbuch. Supplem. 1, S. 55.

$\ddot{\text{Si}} \quad \ddot{\text{R}} \quad \ddot{\text{R}}$   
 gefunden 33,70:10,03:3,07  
 berechnet 34,00: 9,27:3,09.

Ferner ist hierbei eines andern interessanten Minerals zu gedenken, nämlich eines *Orthoklas* aus dem Syenit der Vogesen, welcher von Delesse <sup>1)</sup> analysirt wurde. Das der Analyse entsprechende Sauerstoff-Verhältniß ist:

$\ddot{\text{Si}} \quad \ddot{\text{R}} \quad \ddot{\text{R}}$   
 33,38:9,15:3,01.

Nach der Proportion 11:3:1 müßte es seyn:

33,38:9,11:3,04.

Da  $\ddot{\text{R}}$  in diesem Minerale grofsentheils aus Kali besteht, so ist diese Feldspath-Species als ein *Oligoklas-Orthoklas* zu bezeichnen <sup>2)</sup>.

1) Rammelsberg's Handwörterb., Supplem. 4, S. 216.

2) Alle bekannteren Feldspäthe lassen sich betrachten als chemische Combinationen von entweder 1) Anorthit und Labrador, oder 2) Anorthit und Albit (Orthoklas), oder 3) Labrador und Albit (Orthoklas). Setzt man nämlich:

Atomen-Verhältn.

$\ddot{\text{R}} \quad \ddot{\text{R}} \quad \ddot{\text{Si}} \quad \text{Chemische Formel.}$   
*Anorthit*     = 3 : 3 : 4 =  $\ddot{\text{R}}^3\ddot{\text{Si}} + 3\ddot{\text{R}}\ddot{\text{Si}}$   
*Labrador*    = 3 : 3 : 6 =  $3\ddot{\text{R}}\ddot{\text{Si}} + 3\ddot{\text{R}}\ddot{\text{Si}}$   
 Albit  
 Orthoklas    } = 3 : 3 : 12 =  $3\ddot{\text{R}}\ddot{\text{Si}} + 3\ddot{\text{R}}\ddot{\text{Si}}^3$

so ergibt sich, dafs man die folgenden Feldspäthe betrachten kann als zusammengesetzt aus:

	$\ddot{\text{R}} \quad \ddot{\text{R}} \quad \ddot{\text{Si}}$	Anorthit ( <i>P</i> rechts geneigt) Atome.	Labrador ( <i>P</i> rechts geneigt) Atome.	Albit ( <i>P</i> links geneigt) Atome.	Orthoklas ( <i>P</i> hori- zontal) Atome.
<i>Thjorsauit</i> = 3 : 3 : 5 =		1	1	—	—
( <i>P</i> rechts gen. ?)					
<i>Andesin</i> = 3 : 3 : 8 =		1	—	1	—
( <i>P</i> links gen.)					
<i>Oligoklas</i> = 3 : 3 : 9 =		—	1	1	—
( <i>P</i> links gen.)					
<i>Lopoklas</i> = 3 : 3 : 10 =		1	—	2	1
( <i>P</i> horizontal)					
<i>Oligok-Albit</i> = 3 : 3 : 11 =		—	1	5	—
( <i>P</i> links gen.?)					
<i>Oligok-Orthok</i> = 3 : 3 : 11 =		—	1	—	5
( <i>P</i> horizontal)					

2. Das eben beschriebene eigenthümliche Verhältniß getraute ich mir lange nicht zu deuten, bis ich — zehn Jahre später — den Schlüssel dazu fand. In der Umgegend von Kragerø in Norwegen (auf dem Wege von dieser Stadt nach dem nahegelegenen Hofe Frydenborg) beobachtete ich ein ganz ähnliches, aber noch instructiveres Vorkommen. Ebenfalls dem Gneuse untergeordnet, zeigt sich hier ein krystallinisches, hauptsächlich aus Feldspath und Hornblende bestehendes Gestein, in welchem — an das Snarumer Vorkommen erinnernd — sich mitunter auch etwas Rutil eingesprengt zeigt. In diesem Gestein sieht man, besonders an einer senkrechten Felswand, Krystalle von Skapolithform in so großer Anzahl eingewachsen, daß es nicht schwer halten würde, viele Hunderte derselben zu sammeln. Dennoch gelang es mir nur bei verhältnißmäßig wenigen, sie mit ganz unversehrten Endflächen aus dem Gestein herauszulösen. Die hier vorkommenden Krystalle sind vollkommen scharf — schärfer als die Snarumer — ausgebildet, und zeigen mitunter, außer den oben angegebenen Gestalten, noch die basische Fläche,  $oP$ , sehr scharf und deutlich. Bei einigen fehlt  $\infty P \infty$ , so daß das quadratische Prisma  $\infty P$  allein herrschend auftritt. Die innere Structur aller, ohne Ausnahme, gleicht der eines feinkörnigen Marmors. Krystalle mit so grobkörnig krystallinischem Gefüge wie die von Snarum konnte ich hier

Auch die hierbei zugleich angeführten morphologischen Verhältnisse (in Bezug auf die Eintheilung der Feldspäthe in rechts geneigte und links geneigte) bietet einiges Interesse. — Breithaupt's Lopoklas ist bisher für einen orthoklasischen Felsit von der chemischen Zusammensetzung des *Oligoklases*, also von dem Atom-Verhältniß  $\ddot{R} : \ddot{R} : \ddot{Si} = 3 : 3 : 9$ , angesehen worden. Die Plattner'sche Analyse dieses Minerals ergibt jedoch eine Sauerstoff-Proportion, welche dem Verhältnisse  $3 : 3 : 10$  am nächsten steht.

	$\ddot{Si}$	$\ddot{R}$	$\ddot{R}$
gefunden durch die Analyse	= 32,97	: 9,68	: 3,25
berechnet nach $10 : 3 : 3$	= 32,97	: 9,90	: 3,30
berechnet nach $9 : 3 : 3$	= 32,97	: 10,99	: 3,66

Der Lopoklas ist also eine in jeder Beziehung selbstständige Species.

nirgends beobachten. Die Größe, welche sie erreichen, geht bis zu 5 und 6 Zoll Länge und  $1\frac{1}{2}$  bis 2 Zoll Durchmesser. Die in sehr beträchtlicher Menge vorkommende Hornblende ist eine normale dunkellauchgrüne, leicht spaltbar und auf den Spaltungsflächen stark glänzend. Häufig trifft man jene skapolithförmigen Krystalle ganz in dieser Hornblende eingewachsen. Das spec. Gew. des in Skapolithform auftretenden Feldspaths ist = 2,60, also sehr nahe gleich dem des Snarumer. Seine chemische Zusammensetzung ist jedoch eine andere:

	(a)	(b)
Kieselerde	68,00	
Thonerde	18,87	} 19,62
Eisenoxyd	0,57	
Kalkerde	0,21	
Talkerde	Spur	
Kali		1,11
Natron		10,52
Wasser	0,45	

Beide Analysen, die eine mit kohlensaurem Natron, die andere mit Flufssäure, wurden vom Hrn. Rob. Richter ausgeführt. Es ergeben sich aus ihnen folgende Sauerstoffmengen der Bestandtheile:

		Sauerstoff.	
Kieselerde	68,00	35,31	35,31
Thonerde	18,87	8,82	} 8,99
Eisenoxyd	0,57	0,17	
Kalkerde	0,21	0,06	
Talkerde	Spur		} 2,97
Kali	1,11	0,19	
Natron	10,52	2,72	
Wasser	0,45		
	<u>99,73.</u>		

Diese Sauerstoff - Proportion 35,31 : 8,99 : 2,97 entspricht dem einfachen Verhältniß 12 : 3 : 1, welches erfordert

$$35,31 : 8,83 : 2,94.$$

Der Feldspath von Krageröe hat daher die Zusammensetzung eines normalen *Albit*, entsprechend der Formel



Somit haben wir einen zweiten Fall vor uns, in welchem eine Feldspathart in Krystallen auftritt, die äußerlich die Skapolithform an sich tragen, innerlich aber eine krystallinisch körnige (marmorartige) Structur besitzen. Es erscheint daher jetzt weniger gewagt, wenn wir den beiden Felsit-Species *Albit* und *Oligoklas-Albit* das Recht vindiciren, unter besonderen Umständen in der Skapolithform krystallisiren zu können, jedoch mit der Beschränkung: diese Form später vielleicht stets nur äußerlich, aber nicht innerlich zu bewahren. Möglicherweise ist es die nach dieser Krystallbildung vor sich gegangene Abkühlung der ursprünglich geschmolzenen granitischen Massen gewesen, welche eine Molecular-Bewegung im Inneren der Krystalle und dadurch die Bildung eines Aggregates von krystallinischen Feldspathpartikeln zur Folge hatte.

Die Dimorphie der chemischen Substanz des *Albit* und der des *Oligoklas-Albit*, auf welcher die eben beschriebenen Paramorphosen beruhen, führt uns zu der Frage: ob auch andere Feldspäthe eine solche Dimorphie zeigen? Oder mit anderen Worten: ob es Skapolithe giebt, welche die chemische Zusammensetzung von *Oligoklas*, *Labrador* u. s. w. haben? Die Antwort hierauf ist aus zahlreichen vorhandenen Analysen nicht schwer zu entnehmen. Die daraus abgeleiteten Formeln ergeben Folgendes:

Feldspäthe <sup>1)</sup> .		Skapolithe.		Formeln.
<i>Lepolith</i>	} und {	<i>Mejonit</i> v. M. Somma	}	$= \text{R}^3 \ddot{\text{Si}} + 2 \ddot{\text{R}} \ddot{\text{Si}}$
<i>Linseit</i>		<i>Skapolith</i> v. Ersby		

1) Einige dieser Feldspäthe, namentlich *Lepolith* und *Linseit*, enthalten basisches Wasser. Ein Gleiches ist bei dem *Skapolith* von *Ersby* der Fall. In den Formeln dieser Mineralien tritt also (R) statt R auf. Das Nähere über die Zusammensetzung der erstgenannten zwei wasserhaltigen Feldspäthe werde ich bei einer späteren Gelegenheit mittheilen.

Feldspäthe.	Skapolithe.	Formeln.
Anorthit	und { Skapolith v. Tunaberg Wernerit v. Ersby }	$= \dot{R}^3 \ddot{Si} + 3 \ddot{R} \ddot{Si}$
Thjorsauit Barsowit Bytownit	{ und Wernerit v. Ersby (andere Art)	$= \dot{R}^3 \ddot{Si}^2 + 3 \ddot{R} \ddot{Si}$
Labrador (?) (v. Vesuv u. v. Corsica)	und Wernerit v. Petteby	$= \dot{R}^3 \ddot{Si}^2 + 4 \ddot{R} \ddot{Si}$
Labrador	und { Skolezit (wasserfreier) v. Pargas Wernerit v. Ersby (dritte Art)	$= \dot{R} \ddot{Si} + \ddot{R} \ddot{Si}$
Oligoklas Harnefjordit	{ und Skapolith v. Sjösa	$= \dot{R} \ddot{Si} + \ddot{R} \ddot{Si}^2$

Wir finden also: dafs fast einer jeden bis jetzt bekannten Feldspathart eine Skapolithart von gleicher chemischer Formel entspricht. Die Formeln der Feldspäthe weichen nur insofern von denen der entsprechenden Skapolithe ab, dafs  $\dot{R}$  in einigen derselben verschiedene relative Mengen isomorpher Stoffe enthält. Es ist nämlich:

beim Linseit	$\dot{R} = \dot{Mg}, \dot{Fe}, (\dot{H})$
„ Lepolith	$= \dot{Ca}, \dot{Mg}, \dot{Na}, (\dot{H})$
„ Anorthit	$= \dot{Ca}, \dot{Na}$
„ Thjorsauit	$= \dot{Ca}, \dot{Na}$
„ Barsowit	$= \dot{Ca}, \dot{Mg}$
„ Bytownit	$= \dot{Ca}, \dot{Na}^1)$
„ Labrador v. Ves.	$= \dot{Ca}, \dot{Na}, \dot{K}$
„ Labrador	$= \dot{Ca}, \dot{Na}$
„ Oligoklas	$= \dot{Na}, \dot{K}, \dot{Ca}$
„ Harnefjordit	$= \dot{Ca}, \dot{Na}$

Bei allen Skapolithen ist  $\dot{R}$  hauptsächlich  $= \dot{Ca}, \dot{Na}$ .

- 1) Beim Bytownit sind  $\dot{Ca}$  und  $\dot{Na}$  ziemlich im Gleichgewichte, beim Thjorsauit und Barsowit ist  $\dot{Ca}$  vorherrschend.

Die folgende Zusammenstellung verschiedener Analysen von Feldspäthen und Skapolithen legt es vor Augen, daß die Abweichungen in der procentalen Zusammensetzung in der That nicht gröfser sind, als sie bei zwei Analysen eines und desselben Minerals zu seyn pflegen.

	Feldspath.	Skapolith.	
	Anorthit v. Vesuv.	Skapolith v. Tunaberg.	Wernerit (1) v. Ersby.
Kieselerde	44,12	43,83	43,83
Thonerde	35,12	35,28	35,43
Eisenoxyd	0,70	Fe 0,61	—
Kalkerde	19,02	19,37	18,96
Talkerde	0,56	—	—
Kali	0,25	—	—
Natron	0,27	—	—
Wasser	—	—	1,03
	<u>100,04</u>	<u>99,09</u>	<u>99,25</u>

(Abich) (Walmstedt) (Nordenskjöld)

Gemeinschaftliche Formel =  $\dot{R}^3 \ddot{Si} + 3\ddot{R} \ddot{Si}$

	Feldspath.			Skapolith.
	Bytownit v. Bytowe.	Thjorsaut v. Selfjal.	Thjorsaut v. Thjorsa.	Wernerit (2) v. Ersby.
Kieselerde	47,40	47,63	48,75	48,77
Thonerde	29,60	32,52	30,59	31,05
Eisenoxyd	3,40	2,01	1,50	—
Kalkerde	9,32	17,05	17,22	15,94
Talkerde	0,40	1,30	0,97	—
Natron	7,60	1,09	1,13	3,25
Kali	—	0,29	0,62	—
Wasser	1,96	—	—	0,61
	<u>99,68</u>	<u>101,89</u>	<u>100,78</u>	<u>99,62</u>

(Thomson) (Forchhammer) (Genth) (Hartwall  
u. Hedberg)

Gemeinschaftliche Formel =  $\dot{R}^3 \ddot{Si}^2 + 3\ddot{R} \ddot{Si}$



	Feldspath.		Skapolith.
	Labrador v. Vesuv.	Labrador v. Corsica.	VVernerit v. Petteby.
Kieselerde	47,9	48,62	51,34
Thonerde	34,0	34,66	32,27
Eisenoxyd	2,4	0,73	1,91
Kalkerde	9,5	12,02	9,33
Talkerde	0,2	0,33	—
Natron	5,1	2,55	5,12
Kali	0,9	1,05	—
Wasser	—	0,50	1,00
	100,0	100,46	100,97
	(Laurent u. Holms)	(Delesse)	(Hartwall u. Hedberg)

Gemeinschaftliche Formel =  $\ddot{R}^3 \ddot{Si}^2 + 4 \ddot{R} \ddot{Si}$

	Feldspath.			Skapolith.	
	Labrador v. Rufsgaarden.	Labrador v. d. Faröer.	Labrador v. Campsie.	VVernerit (3) v. Ersby.	Wasserfreier Skolezit v. Pargas.
Kieselerde	52,15	52,52	54,67	52,11	54,13
Thonerde	26,82	30,03	27,89	27,60	29,23
Eisenoxyd	1,29	1,72	0,31	0,55	—
Kalkerde	9,15	12,58	10,60	13,53	15,46
Talkerde	1,02	0,19	0,18	—	—
Natron	4,64	4,51	5,05	3,86	—
Kali	1,79	—	0,49	—	—
Wasser	1,75	—	—	0,73	1,07
	98,61	101,55	99,19	98,38	99,89
	(Svan- berg)	(Forch- hammer)	(Le Hunte)	(Hartwall u. Hedberg)	(Norden- skjöld)

Gemeinschaftliche Formel =  $\ddot{R} \ddot{Si} + \ddot{R} \ddot{Si}$

	Feldspath.		Skapolith.	
	Havnefjordit v. Island.	Oligoklas v. Sala.	Skapolith v. Arendal <sup>1)</sup> .	Skapolith v. Sjösa.
Kieselerde	61,22	60,15	61,50	61,64
Thonerde	23,32	23,47	25,35	25,72
Eisenoxyd	2,40	1,20	1,50	1,04
Manganoxydul	—	—	1,50	—
Kalkerde	8,82	5,21	3,00	2,98
Talkerde	0,36	0,36	0,75	—
Natron	2,56	5,65	5,00	nicht be- stimmt
Kali	Spur	1,77		
Wasser	—	1,03	—	1,86
	98,68	98,84	98,60	
	(Forchhammer)	(Svanberg)	(Wolff)	(Wolff)

Gemeinschaftliche Formel =  $\text{R}\ddot{\text{Si}} + \text{R}\ddot{\text{Si}}^2$ .

Als Endresultat unserer Betrachtungen der Feldspath-Skapolith-Reihe, und mit Zuziehung zuvor bekannter hierher gehöriger Thatsachen ergibt sich: *die zur Feldspath-Reihe gehörigen Mineral-Substanzen sind polymer-homöomorph, zugleich aber dimorph; ihre eine Form ist die klinoëdrische der Feldspäthe, ihre andere die tetragonale der Skapolithe. Paramorphosen von Feldspath nach Skapolith erscheinen daher als möglich. Beobachtet wurden: Paramorphosen von Albit und von Oligoklas-Albit nach Skapolith.*

#### C. Elgentümliches Auftreten von Natrolith im Norwegischen Zirkonsyenit.

Zu den zahlreichen accessorischen Gemengtheilen des Norwegischen Zirkonsyenit gehört bekanntlich auch der Natrolith (Natron-Mesotyp). Stellenweise tritt derselbe in sol-

- 1) Mein College Prof. Breithaupt erhielt vor Kurzem durch Dr. Bondi einen Arendaler Skapolithkrystall, welcher sich auf das Deutlichste als eine Paramorphose zu erkennen giebt. Doch bleibt es einstweilen unausgemacht, ob der betreffende Feldspath Albit oder Oligoklas ist. Der Krystall, eine Combination  $P. 0P. \infty P. \infty P\infty$ , ist etwa 3 Zoll lang und 2 Zoll dick.

cher Häufigkeit auf, daß dadurch ein förmlicher *Natrolith-Syenit* — ein grobkörniges Gemenge von Natrolith, Feldspath und Hornblende — gebildet wird. Der auf diese Weise vorkommende Natrolith gleicht dem in anderen (neueren) eruptiven Gesteinen vorkommenden so wenig, daß man ihn lange Zeit als ein eigenthümliches Mineral betrachtete, welches von Werner den Namen *Spreustein* erhielt, später aber von einigen Mineralogen dem Skapolithgeschlechte beigeordnet wurde. Ich habe gezeigt, daß der Spreustein nach der Formel  $\text{NaSi} + \text{AlSi} + 2\text{H}$  zusammengesetzt und folglich in chemischer Beziehung identisch mit Natrolith ist <sup>1)</sup>. Wenn jener Name hiernach nicht länger als Bezeichnung einer *Species* zulässig seyn kann, verdiente derselbe gleichwohl zur Hervorhebung einer *Varietät* des Natrolith beibehalten zu werden, deren charakteristischen Habitus er uns so anschaulich hinstellt. Der Spreustein besteht nämlich aus schmalstrahlig- und dünnblättrig-krySTALLINISCHEN Partien, welche durch ihre verworrene Zusammenhäufung, wie überhaupt durch ihre ganze äußere Erscheinung mehr oder weniger an zusammengehäufte Spreu erinnern. Mit anderen Worten: der Spreustein hat die Structur eines fein- bis grobkörnigen Marmors, doch mit dem — in der Natur des Natrolith begründeten — Unterschiede, daß die mit einander verwachsenen kleineren oder größeren Partien ein parallel- oder divergirend-strahliges, theilweise auch blättriges Gefüge besitzen. Die ganze, durchaus compacte Masse desselben ist innig und scharf mit völlig frischem Feldspath und Amphibol verwachsen. Man findet sowohl kleinere Spreustein-Partien rings umgeben von Feldspath, als auch letzteren mitten im Spreustein. Die Hornblende — von der dunkelschwarzen, durch Vollkommenheit und Glanz ihrer Spaltungsflächen ausgezeichneten Art, welche von Hausmann <sup>1)</sup> neuerlich als

1) Pogg. Ann. Bd. 65, S. 276. Dasselbe Resultat erhielt neuerlich C. G. Gmelin, l. c. Bd. 81, S. 311.

2) Abhandl. d. Königl. Gesellschaft d. Wiss. zu Göttingen, Bd. 5. Bemerkungen über den Zirkonsyenit.

Arfvedsonit erkannt wurde — wird sowohl im Feldspath als im Spreustein eingewachsen angetroffen; im Spreustein mitunter in ringsum scharf ausgebildeten Krystallen, welche nicht die geringste Spur irgend einer spätern Zersetzung oder Veränderung an sich tragen. Der Complex dieser und anderer Thatsachen, welche das Vorkommen der constituirenden und accessorischen Gemengtheile des gedachten Syenits charakterisiren, deuten unverkennbar darauf hin: *dafs der Natrolith-Syenit, gleich dem gewöhnlichen Zirkonsyenit, einstmals eine plutonisch flüssige oder breiartige Masse gebildet habe, aus welcher — beim allmäligen Erstarren — die drei Species: Feldspath, Spreustein und Hornblende als Hauptgemengtheile hervortraten.* Die plutonische Bildungsweise des Norwegischen Zirkonsyenit und verwandter Gesteine, eine von L. v. Buch, Hausmann, Naumann u. A. dargelegte und anerkannte Thatsache, erstreckt sich also auch auf die natrolithführende Varietät jener Gebirgsart. Eine Verschiedenartigkeit der Bildung beider Syenitarten annehmen zu wollen, würde mit den geognostischen und petrographischen Verhältnissen im schroffsten Widerspruche stehen. Daraus läfst sich abstrahiren: *dafs der Spreustein von wesentlich anderer Entstehungsart sey, als der in neueren eruptiven — namentlich basaltischen — Gesteinen vorkommende gewöhnliche Natrolith, dessen Krystallisation aus einer wässrigen Auflösung wohl kaum zweifelhaft erscheinen kann.* Hierin liegt denn zugleich die Erklärung des verschiedenen Habitus beider Mineralien. Während sich der Spreustein unter den obwaltenden Umständen nur zu einer Masse von *krystallinisch - körniger Structur* auszubilden vermochte, hat sich der in Drusen- und Mandel-Räumen vorkommende Natrolith zu vollkommenen *Krystallindividuen* entwickeln können.

Nicht immer wird der Spreustein in äufferlich formlosen Partien im Zirkonsyenit angetroffen, sondern bisweilen auch zu sehr deutlichen Krystallen ausgebildet. Ich fand deren zuerst im Jahre 1842 auf einer kleinen Insel westlich von der (als Fundstätte des Thorit) bekannten grö-

fseren Insel Lövöe im Brevigfjord <sup>1)</sup>); und später sind sie auch an mehreren anderen Stellen des Zirkonsyenit-Terrains gefunden worden. Diese Krystalle — von denen manche eine Länge von einigen Zollen bei einem Durchmesser von  $\frac{1}{2}$  bis gegen 1 Zoll erreichen — haben die Form sechsseitiger Säulen, kommen in vollkommen frischem Syenit, besonders in Feldspath eingewachsen vor, und zeigen in ihrer ganzen Masse dieselbe verworren krystallinische (marmorähnliche) Structur wie der gewöhnliche Spreustein. Mitunter findet man auch Krystalle, welche auf ihrem Querbruche eine, an das oben gedachte Auftreten der Hornblende (S. 14) erinnernde Anordnung ihrer strahligen Masse zeigen. Nach allen vorliegenden Thatsachen halte ich es für wahrscheinlich — und habe mich bereits früher darüber ausgesprochen <sup>2)</sup> — *dafs auch die Spreusteinkrystalle zu den Paramorphosen gehören.* Ich nehme an, dafs sich aus der, durch plutonische Einwirkung ihrer Starrheit beraubten Masse des Zirkonsyenit: Natrolithkrystalle von einer anderen Form als die des gewöhnlichen — aus einer wässerigen Auflösung krystallisirten — Natrolith ausgeschieden haben; dafs aber darauf jene Krystalle der ersten Art, während oder nach ihrer Erstarrung — ganz analog den Krystallen des geschmolzenen Schwefels — innerlich zu einem Aggregat krystallinischer Partikel verändert worden seyen.

In einem der neuesten Hefte dieser Annalen (Bd. 87, S. 315) veröffentlicht Blum, dem mehrere der eben mitgetheilten Daten unbekannt gewesen seyn dürften, seine Ansicht über die Entstehung der Spreusteinkrystalle, von denen vor Kurzem durch Dr. Krantz in Bonn und Dr. Bondi in Dresden eine Anzahl Exemplare in den Mineralienhandel gekommen ist. Er betrachtet dieselben als *Pseudomorphosen nach Eläolith*, welches Mineral bekanntlich als

1) *Nyt Mag. for Naturvidenskaberne* Bd. 4, S. 134. — v. Leonhard u. Bronn's Jahrb. 1843, S. 642.

2) *Verhandl. d. Bergmänn. Vereins zu Freiberg. Berg- und Hüttenmänn. Zeitung* Bd. 11, S. 374.

ein sehr häufiger — obwohl äußerst selten zu deutlichen Krystallen entwickelter — accessorischer Gemengtheil des Norwegischen Zirkonsyenit angetroffen wird.

Die Meinung Blum's umfaßt zwei getrennte Behauptungen:

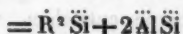
- 1) daß die Spreusteinkrystalle von — in gewöhnlichem Sinne — pseudomorpher Bildung seyen, und
- 2) daß sie durch Umwandlung aus Eläolith entstanden.

Die erste Behauptung wird durch die eben angeführten Verhältnisse des Spreustein-Vorkommens nichts weniger als gerechtfertigt. Der als Spreustein auftretende Natrolith erscheint nicht als ein theilweise *eingewandertes* Mineral, sondern er giebt sich als ein *aboriginer* Einwohner des Zirkonsyenit zu erkennen. Auch Hausmann <sup>1)</sup> schließt aus seinen Beobachtungen, daß Feldspath, Hornblende, Spreustein und Eläolith, so wie die anderen Gemengtheile dieser Gebirgsart eine gleichzeitige Entstehung haben, daß sie alle aus einer gemeinschaftlichen (plutonischen) Auflösung hervorgingen, indem sie sich bei der Erstarrung derselben als verschiedenartige chemische Verbindungen individualisirten. Wenn es sich hiernach als eine nicht haltbare Hypothese herausstellt, den Spreustein als eine secundäre Bildung zu betrachten und seine Entstehung einer physisch und chemisch unbegreiflichen Infiltration zuzuschreiben, so wird dadurch der zweiten Behauptung die ganze Basis entzogen. Nichts destoweniger wollen wir, unter Annahme der Möglichkeit eines hier vor sich gegangenen pseudomorphirenden Processes, auch diesem Theile der Blum'schen Ansicht unsere Aufmerksamkeit widmen.

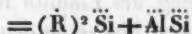
Blum stützt seine Meinung besonders auf zwei Umstände: 1) auf die angeblich gleiche Krystallform von Spreustein und Eläolith, und 2) auf das Vorkommen des letzteren Minerals in und an einem Krystalle des ersteren. Betrachten wir zuerst diesen zweiten Punkt. Das Nebeneinander-Vorkommen von zwei hinsichtlich ihrer chemischen Zusammensetzung so nahe mit einander verwandten Mine-

1) Bemerkungen üb. d. Zirkonsyenit, S. 16.

ralien ist gewiss eine sehr natürliche Erscheinung. Die Formel des Eläolith ist



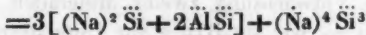
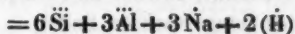
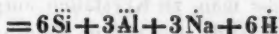
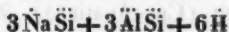
oder vielleicht richtiger (wegen des oft nicht unbeträchtlichen Wassergehaltes dieses Minerals):



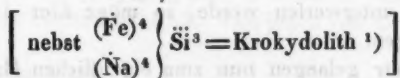
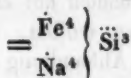
wobei die fixen Bestandtheile von  $\dot{R}$  zu  $\frac{4}{3}$  aus Natron und zu  $\frac{1}{3}$  aus Kali bestehen. Die Formel des Natrolith:



läßt sich verändern zu:



woraus man ersieht, daß der Natrolith als aus 3 Atomen Natron-Eläolith und 1 Atom Natron-Hornblende zusammengesetzt betrachtet werden kann. Es ist daher leicht erklärlich, daß sich aus einer plutonisch geschmolzenen Masse wie die des Zirkonsyenit, welche  $\ddot{Si}$ ,  $\ddot{Al}$  (nebst  $\ddot{Fe}$  und  $\ddot{Fe}$ ),  $\dot{Na}$ ,  $\dot{K}$  und  $\dot{H}$  in bestimmten Verhältnissen enthielt, gleichzeitig Eläolith und Natrolith, so gut wie Arfvedsonit



und — wie wir aus C. G. Gmelin's neueren Untersuchungen<sup>2)</sup> wissen — ein Kali-Natron-Feldspath ausscheiden mußten. An allen den Stellen dieser Masse, wo Kali

1) Pogg. Ann. Bd. 84, S. 365—367.

2) Ebendas. Bd. 81, S. 311.

und Eisenoxydul in hinreichender Menge vorhanden waren, war die Bildung von Natrolith unmöglich: hier konnten nur Eläolith und Hornblende entstehen, während ein Mangel an Kali und Eisenoxydul die Natrolith-Bildung zur Folge hatte. Dagegen wird durch die Annahme einer pseudomorphirenden Umwandlung des Eläolith in Natrolith — abgesehen von vielen andern hierbei in den Weg tretenden Hindernissen — der armen Natur das schwierige Geschäft aufgebürdet: alles Kali aus dem Eläolith rein herauszuwaschen! Die hierbei nothwendigerweise entstandene alkalische Lauge mußte aber außerdem noch auf eine höchst subtile Weise entfernt werden, damit dadurch gewisse Mineralien, wie Hornblende, Apatit (Cer-Apatit<sup>1)</sup>), Zirkon, Pyrochlor, u. s. w. — welche man, zu Krystallen ausgebildet und im völlig frischen Zustande, sowohl im Feldspath und Eläolith wie im Spreustein eingewachsen findet — durchaus nicht beschädigt wurden.

Eine Verwachsung zweier Mineralien innerhalb eines Krystalls — wie sie Blum zur Unterstützung seiner Meinung anführt — beweist sicherlich nicht, was dadurch bewiesen werden soll. Unzweifelhaft ist es, daß man bei wahren Pseudomorphosen mitunter zwei verschiedenartige Substanzen — das pseudomorphirende und pseudomorphirte Mineral — von den Contouren eines und desselben Krystalls umschlossen findet; allein es wäre sehr unrichtig, diesen Satz umzukehren: und bei jedem derartigen oder ähnlichen Mineral-Vorkommen auf eine gewöhnliche Pseudomorphose schließen zu wollen. Da ich diesen Gegenstand im Verlaufe dieser Abhandlung einer näheren Betrachtung unterwerfen werde, so möge hier das Angedeutete genügen.

Wir gelangen nun zum eigentlichen Hauptpunkte der Blum'schen Theorie: die angeblich gleiche Form der Spreustein- und Eläolith-Krystalle. Der Eläolith krystallisirt bekanntlich in hexagonalen Säulen (mit 6 Winkeln

von

1) Hausmann, üb. d. Zirkonsyenit, S. 16.



von  $120^\circ$ ), an welchen eine gerad angesetzte (horizontale) Endfläche auftritt. Wenn Blum meint, daß der Spreustein Krystalle von der nämlichen Form bildet, so stimmen seine Beobachtungen mit den meinigen durchaus nicht überein. An den verschiedenen mir zu Disposition stehenden Spreustein-Exemplaren beobachtete ich Folgendes.

1. Ein Krystallbruchstück (etwa  $\frac{1}{2}$  Zoll lang und breit), an welchem drei Flächen, ähnlich den Flächen eines stumpfen Rhomboëders, zusammenstoßen. Zwei derselben ( $a$  und  $a'$ ) sind sehr scharf ausgebildet und so eben und glatt, daß sie einen schwachen Glanz besitzen. Durch Messung mittelst des Anlege-Goniometers wurde ihre Neigung  $= 136^\circ$  gefunden. Um diese Flächen mit dem Reflexions-Goniometer messen zu können, bediente ich mich des von G. Rose <sup>1)</sup> bei der krystallographischen Bestimmung von Serpentinkrystallen angewendeten Verfahrens, und versah beide Flächen mit einem Lack-Ueberzuge <sup>2)</sup>. Auf diese Weise ergab sich die Neigung derselben im Durchschnitt von einigen Versuchen zu  $136\frac{1}{4}^\circ$ . Die erwähnte dritte Fläche ( $b$ ) ist größtentheils beschädigt und auch ihr unbeschädigter Theil nicht ganz scharf ausgebildet. Ihre Neigung gegen eine der beiden Flächen  $a$  und  $a'$  konnte daher nicht näher bestimmt werden, als zwischen den Gränzwerten  $125^\circ$  und  $130^\circ$  liegend.

2. Eine an beiden Enden abgebrochene sechsseitige Säule ( $1\frac{3}{4}$  Zoll lang und 1 Zoll dick), an welcher vier Längskanten scharf ausgebildet und freiliegend, die beiden anderen aber — theils durch Verwachsung mit Feldspath und einem kleineren Spreusteinkrystall, theils durch Beschädigung — nicht zu beobachten sind. Von jenen vier Längs-

1) Pogg. Ann. Bd. 82, S. 511.

2) Bei Krystallen mit glanzlosen aber hinreichend ebenen Flächen, und bei Anwendung eines möglichst durchsichtigen Lackes braucht man nicht wegen der leicht eintretenden oberflächlichen Unebenheit dieses Ueberzuges besorgt zu seyn; denn es ist die untere Fläche desselben, welche das Spiegelbild giebt.

kanten bildet eine einen Winkel von annähernd  $125^\circ$ , eine links benachbarte einen Winkel von ungefähr  $118^\circ$  und zwei rechts benachbarte ebenfalls Winkel von  $118^\circ$ . Auf eine dieser letzteren Kanten, und zwar auf die der Kante von  $125^\circ$  zunächst liegende, ist eine schiefe Endfläche aufgesetzt, welche sich aber wegen starker Streifung nicht messen läßt. Auch jener zuvor erwähnte kleinere Spreusteinkrystall, welcher mit dem eben beschriebenen großen verwachsen, größtentheils aber weggebrochen ist, zeigt zu starke Längsstreifung, als daß sich ein Säulenwinkel an ihm bestimmen ließe. Doch konnte — durch vergleichen des Visiren — so viel ermittelt werden, daß eine, auf eine der Längskanten gerade aufgesetzte Zuspitzungsfläche anscheinend denselben Winkel mit dieser Längskante macht, welchen die Fläche  $b$  mit der Kante zwischen  $a$  und  $a'$  bildet.

3. Vier an beiden Enden abgebrochene sechsseitige Säulen (1 Zoll lang,  $\frac{5}{8}$  Zoll dick;  $1\frac{1}{2}$  Zoll lang,  $\frac{1}{4}$  Zoll dick;  $\frac{3}{4}$  Zoll lang,  $\frac{1}{4}$  Zoll dick;  $\frac{1}{2}$  Zoll lang,  $\frac{1}{2}$  Zoll dick) in Feldspath sitzend, und je zwei und zwei davon divergirend mit einander verwachsen. Diejenigen Längskanten dieser Säulen, welche freiliegend und in hinreichender Schärfe vorhanden waren, zeigten folgende Winkel. An dem ersten Krystall eine Längskante von  $136^\circ$ . Eine benachbarte Prismenfläche eignete sich wegen starker Längsstreifung nicht zur Messung. An dem zweiten Krystall wurde ein Winkel von  $125^\circ$  und ein anderer von  $118^\circ$  beobachtet; doch, wegen Schmalheit der einen und Unebenheit der anderen Fläche, nur approximativ. Am dritten Krystall war nur ein Winkel  $= 136^\circ$  meßbar, und am vierten keiner.

4. Ein Krystallbruchstück (1 Zoll lang und 1 Zoll breit), woran zwei Prismenwinkel zu beobachten, einer von  $118^\circ$  und ein benachbarter von  $125^\circ$ . Letzterer weniger deutlich.

5. Zwei Krystallfragmente (eins von  $\frac{5}{8}$  Zoll makrodiagonalem und  $\frac{3}{4}$  Zoll brachydiagonalem Durchmesser, das zweite von geringerer Dicke) in Feldspath eingewachsen. An ersterem befinden sich zwei gegenüberliegende Prismen-

winkel von  $136^\circ$ , an letzterem zwei benachbarte von  $118^\circ$  und  $125^\circ$ .

Alle hier beschriebenen Krystallbruchstücke und noch einige weniger deutliche habe ich im Zirkonsyenit der Gegend von Brevig gefunden. Die beiden folgenden Stufen befinden sich in der Mineraliensammlung der hiesigen Bergakademie. Das eine wurde von Dr. Krantz, das andere von Dr. Bondi gekauft.

6. Zwölf gröfsere und kleinere Krystalle von der Form sechsseitiger Säulen, doch sämmtlich mit abgebrochenen Endflächen, in Feldspath eingewachsen. An einem dieser Krystalle ( $2\frac{1}{4}$  Zoll lang und  $\frac{3}{4}$  Zoll im Durchmesser) beträgt ein Kantenwinkel  $135^\circ$  bis  $136^\circ$ , und ein benachbarter  $112^\circ$  bis  $113^\circ$ ; an einem zweiten etwas kleineren Krystall ein Kantenwinkel wie der erste ( $136^\circ$ ); an einem grösstentheils von Feldspath umgebenen Krystall bilden zwei hervorragende, scharf ausgebildete Flächen einen Winkel von  $125^\circ$ . Die anderen, grösstentheils von Feldspath umgebenen Krystalle bieten wenig Gelegenheit zu genaueren Winkelbestimmungen.

7. Einige gröfsere, in Feldspath eingewachsene Krystalle. Von einem derselben ( $2\frac{1}{4}$  Zoll lang und 1 Zoll dick) liegen zwei scharf ausgebildete Säulenflächen blofs, einen Winkel von  $125^\circ$  bildend, an einem anderen zeigen sich zwei Prismenflächen unter  $118^\circ$ , und an einem dritten zwei derselben unter  $125^\circ$  geneigt. Dieser letztere,  $3\frac{1}{4}$  Zoll lange Krystall ist mit Endflächen versehen, die aber leider mehr oder weniger verkümmert und zum Theil auch beschädigt sind. Doch läfst sich so viel erkennen, dafs ein geneigtes (klinodiagonales) Hemiprisma von ungefähr  $135^\circ$  bis  $136^\circ$  (Breithaupt erhielt das nämliche Resultat) auf die Säulenkante von  $125^\circ$  zuläuft. Der Winkel, welchen diese letztere Kante mit der stumpfen Kante jenes Hemiprisma bildet, war anscheinend von derselben Gröfse, wie der so gleich zu erwähnende Winkel  $\alpha$ . Ein kleiner (1 Zoll langer und  $\frac{1}{4}$  Zoll dicker) Krystall, in Feldspath eingewach-



sen, aber seiner Länge nach — und zwar annähernd parallel seinem klinodiagonalem (brachydiagonalen) Hauptschnitte — gespalten, zeigt auf der ebenen Spaltungsfläche des umgebenden Feldspathes eine Contour wie nebenstehende Figur.

Ich habe mich bemüht, die Winkel  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  möglichst genau zu bestimmen; allein bei der nicht hinreichenden Schärfe und Ebenheit jener Contouren gelangte ich nur zu folgenden approximativen Werthen  $\alpha = 103^\circ$  bis  $106^\circ$ ;  $\beta = 124^\circ$  bis  $126^\circ$ ;  $\gamma = 129^\circ$  bis  $132^\circ$ . Ein zwar etwas größerer gespaltenener Krystall, welcher ähnliche Contouren darbot, war noch weniger zu genaueren Bestimmungen geeignet. — Beachtung verdient es, daß die beim Krystallbruchstück (2) erwähnte schief aufgesetzte Endfläche einem klinodiagonalen Prisma anzugehören scheint, welches mit dem eben angegebenen (von  $135^\circ$  bis  $136^\circ$ ) identisch seyn dürfte.

Endlich muß ich noch anführen, daß es mir, bei meinen früheren mineralogischen Excursionen in das Gebiet des Norwegischen Zirkonsyenit, nur einen einzigen *Eläolith-Krystall* aufzufinden gelang. Dieser hat auf das Unverkennbarste die Form einer hexagonalen Säule (Winkel von  $120^\circ$ ) mit basischer (horizontaler) Endfläche.

Was aus allen diesen krystallographischen Bestimmungen mit größter Gewißheit folgt, ist: daß sich die Form der Spreustein-Krystalle als eine von der der *Eläolith-Krystalle* gänzlich verschiedene zeigt.

Hiermit verschwindet also der letzte Rest der gedachten Pseudomorphosen-Hypothese. Doch erkenne ich gleichwohl die Gefahr nicht: daß aus der Asche der einen Hypothese eine neue Hypothese entstehen kann. Wenn die Spreustein-Krystalle auch keine Pseudomorphosen nach *Eläolith* sind, — könnte man einwenden — nun wohl, so sind sie es nach einem anderen Mineral! Nach welchem aber? Ich will — unter einstweiliger Nichtberücksichtigung aller Gründe, welche hier überhaupt jede Pseudomorphose gewöhnlicher Art von der Hand weisen — sehr gern be-

hülflich seyn, dies heraus zu finden. Beachten wir alle oben angegebenen krystallographischen Daten, so stellt sich mit grösserer oder geringerer Sicherheit heraus:

- 1) dass die Spreustein-Krystalle eine monoklinoëdrische Gestalt besitzen;
- 2) dass an denselben ein monoklinoëdrisches Prisma  $\propto P$  von  $125^\circ$  mit einem klinodiagonalen Flächenpaar ( $\propto P \propto$ ) aufritt;
- 3) dass dieses Prisma mit einem vorderen Hemi-Prisma  $P$  ( $136^\circ$ ) und einer hinteren schiefen Endfläche  $nP \propto$  zugespitzt erscheint. Die bei einigen Krystallen beobachteten Säulenwinkel von  $136^\circ$  und von  $112^\circ$  bis  $113^\circ$ , werden durch ein Vorherrschen von  $P$  und ( $\propto P \propto$ ) erklärlich <sup>1)</sup>.

Diese morphologischen Verhältnisse erinnern zum Theil unverkennbar an die *Amphibol-Form*. Der Winkel des monoklinoëdrischen Haupt-Prisma und der Winkel  $\alpha$  scheinen den entsprechenden Winkeln bei der Hornblende nahe zu kommen. Andererseits aber ist zu berücksichtigen, dass *Zuspitzungsflächen* von gleicher Art wie beim Spreustein bisher an keiner Amphibol-Species beobachtet wurden. Ueberdies ist die Idee einer Pseudomorphose nach Hornblende auch aus anderen Gründen hier gänzlich unhaltbar. Schon der Umstand, dass — wie oben erwähnt — mitten im Spreustein sehr häufig Hornblendepartien mit den schärfsten Contouren, ja nicht selten ringsum ausgebildete Hornblende-Krystalle vorkommen, und dass sich umgekehrt auch Spreustein in der Hornblende findet: ist wohl völlig hinreichend, um die Ungereintheit einer solchen Hypothese aus Licht zu stellen.

Wir werden daher von allen Seiten dazu gedrängt, die

- 1) Die Winkel von  $\propto P$  und  $P$  dürfen jedenfalls nicht kleiner als respective  $125^\circ$  und  $136^\circ$  seyn. Durch Aufkleben von Glimmerblättchen auf einige der am schärfsten ausgebildeten Krystalle und durch darauf folgende Messung mittelst des Reflexions-Goniometers fand ich diesen Winkel bei wiederholten Bestimmungen stets zwischen  $125^\circ$  und  $126^\circ$  und zwischen  $136^\circ$  und  $137^\circ$ .

*Form der Spreustein-Krystalle für eine diesem Mineral eigenthümliche, die Spreustein-Krystalle selbst aber für eine Paramorphose von Natrolith A nach Natrolith B zu halten. Ganz analog, wie sich der Schwefel B in den monoklinoëdrischen Schwefelkrystallen allmählig in den rhombischen Schwefel A umsetzt, haben sich die monoklinoëdrischen Krystalle des Natrolith B innerlich in ein Aggregat von Krystallpartikeln des rhombischen Natrolith A umgewandelt. Als isomere Modification B, mit äußerer und innerer monoklinoëdrischer Gestalt, hat sich der Natrolith aus der plutonisch geschmolzenen Masse des Zirkonsyenit ausgeschieden, ohne im Stande zu seyn, von dieser molecularen Architectur mehr als die äußere Form zu bewahren. In Bezug auf dieses Zerfallen ihrer inneren Textur stehen die Spreustein-Krystalle, wie überhaupt die Paramorphosen, gewissermassen als Krystall-Ruinen da; allein ihre Zerstörung ist keine chaotische — das Aufhören der alten Ordnung war bei ihnen nur der Anfang einer neuen,*

(Fortsetzung folgt.)

## II. *Ueber eine neue Oxydationsstufe des Wasserstoffs und ihr Verhältniß zum Ozon;* *von Dr. M. Baumert.*

Die nachstehende Untersuchung bezieht sich zunächst auf den bei der Elektrolyse des Wassers auftretenden flüchtigen Körper, der mit dem Namen Ozon bezeichnet zu werden pflegt. Da dieser, obwohl ohne jeden positiven Beweis, gewöhnlich als identisch angesehen wird mit dem Stoffe, der sich beim Ueberschlagen elektrischer Funken durch Sauerstoff haltige Gase bildet, so war es nöthig, den letztern gleichzeitig zu berücksichtigen. Dagegen enthalte ich mich in dieser Arbeit noch jedes Urtheils über das durch

andere, als elektrische Processe, erzeugte Ozon, um so mehr, als die ungewöhnlichen Schwierigkeiten, welche Untersuchungen dieser Art darbieten, es vor Allem wünschenswerth machten, nur solche Thatsachen in den Gang derselben hineinzuziehen, die eine sichere und unzweideutige Auslegung gestatteten.

Da das Ozon bei der Elektrolyse des Wassers unabhängig von den Substanzen auftritt, die man, um die Flüssigkeit für den Strom leitend zu machen, hinzusetzt, so läßt sich schon daraus der Schluß ziehen, daß dasselbe außer Wasserstoff und Sauerstoff andere Bestandtheile nicht enthalten kann. Die Menge, welche davon gebildet wird, ist zwar verschieden, je nach den im Wasser gelösten Stoffen. Die Bildung desselben fehlt aber nie, mag man Schwefelsäure, Phosphorsäure, Chromsäure, oder andere, namentlich schwer höher oxydirbare, Körper dem Wasser zusetzen.

Daß sowohl Wasserstoff als Sauerstoff in dem durch Elektrolyse erhaltenen Ozon enthalten sind, läßt sich auf das unzweifelhafteste durch folgenden Versuch nachweisen. Man beschlägt die Wände einer engen langen Glasröhre mit einem hauchartigen Anflug von wasserfreier Phosphorsäure, was am leichtesten durch einen trocknen Luftstrom, der das eben gebildete Verbrennungsproduct des Phosphors durch die Röhre treibt, geschehen kann. Läßt man durch diese Röhre vollkommen getrocknetes Ozon treten, so bleibt die Phosphorsäure unverändert. Wird aber die Mitte der Röhre schwach erhitzt und damit das Ozon zersetzt, so löst das gebildete Wasser die wasserfreie Phosphorsäure jenseits der Flamme nach der Richtung des strömenden Gases hin auf, während die Phosphorsäure diesseits der Flamme keine Veränderung erfährt.

Kann demnach die Abscheidung des Wassers aus diesem Körper keinem Zweifel unterliegen, so läßt sich auf der andern Seite ebenso mit gleicher Gewißheit annehmen, daß diese Elemente des Wassers nicht mit Wasserstoff, sondern mit Sauerstoff zu Ozon verbunden sind. Denn

diese Substanz wirkt in einer solchen Weise oxydirend, daß selbst Chorkalium unter Ausscheidung von Chlor und unter Bildung von Aetzkali dadurch zersetzt wird. Ein Mehrgehalt von Wasserstoff würde dagegen nur reducirende Eigenschaften bedingen können.

In diesem Verhalten ist der Weg angedeutet, auf dem sich die Zusammensetzung des Ozons ermitteln läßt.

Wenn es nämlich ein Mittel giebt, den Sauerstoff zu bestimmen, welcher mit den Elementen des Wassers das Ozon zusammensetzt, so bedarf es nur noch einer Wägung des Ozons oder seiner gesammten Zersetzungsproducte, um die Zusammensetzung desselben festzustellen. Ein solches Mittel bietet sich in einer Methode dar, die im wesentlichen dieselbe ist, deren sich Prof. Bunsen bei seiner Untersuchung des Jodstickstoffs bediente, und über die eine umfassende Arbeit von ihm zu erwarten ist. Der mit den Elementen des Wassers verbundene Sauerstoff scheidet nämlich, in ähnlicher Weise wie freies Chlor oder Brom, ein Aequivalent Jod aus Jodkaliumlösungen aus. Es handelt sich daher nur um die Bestimmung dieses ausgeschiedenen Jods, welche nach jener Methode auf folgende Weise mit ungewöhnlicher Schärfe ausgeführt werden kann.

Man bereitet sich eine Lösung von Jod in Jodkalium von solcher Stärke, daß das in einem Grade der Bürette enthaltene Jod einen kleinen Bruchtheil eines Milligramms, etwa wie bei den nachfolgenden Untersuchungen  $0,0002538$  Gramm chemisch reines Jod  $= a$  enthält. Ferner bereitet man sich einige Litres höchst verdünnter schwefliger Säure, welche nicht mehr als  $\frac{3}{100000}$  an schwefliger Säure enthalten. Es wird nun ermittelt, wie viele Bürettengrade  $t$  der Jodflüssigkeit nothwendig sind, um ein abgemessenes Volum dieser schwefligen Säure zu zerstören. Die dazu nöthige Jodmenge ist daher  $at$ . Werden  $n$  Maasse jener schwefligen Säure der durch Ozon erhaltenen Jodflüssigkeit hinzugefügt, welche letztere die zu suchende Jodmenge  $x$  enthält, so zerstört dieses  $x$  einen Theil der schwefligen Säure. Ermittelt man nun endlich noch die Bürettengrade



$t'$ , und also auch die Jodmenge  $at'$ , welche zur vollständigen Zerstörung der  $n$  Maafse schwefliger Säure erforderlich sind, so ergibt sich die Gleichung:  $x + at' = nat$ ; oder  $x = a(nt - t')$ . Der Punkt, wo die Zerstörung der Säure eingetreten ist, läßt sich leicht nach dem von Dupasquier angegebenen Verfahren mittelst Stärkelösung bestimmen. Aus diesem  $x$ , d. h. der durch den Sauerstoff des Ozons freigemachten Jodmenge, ergibt sich die äquivalente Menge Sauerstoff  $w$ , welche das Ozon außer den Elementen des Wassers enthielt, aus der leicht verständlichen Gleichung  $\frac{O}{J} a(nt - t') = w$ .

Da das Gesamtgewicht des Ozons weniger diesem Sauerstoff  $w$  Wasser, also ein Körper von bekannter Zusammensetzung ist, so handelt es sich nur noch darum, eben dieses Gesamtgewicht des Ozons zu bestimmen. Dieß geschieht durch die einzige Wägung eines kleinen Kugelapparats, durch welchen das scharf getrocknete Ozon geleitet, und worin einerseits dessen Zersetzungsproducte in der Jodkaliumlösung, andererseits das verdunstende Wasser in einem damit verbundenen Schwefelsäurerohr zurückgehalten wurden.

Um einen Anhaltspunkt für die Schärfe dieser Methode zu geben, mag Folgendes zum Beleg dienen. Von der um ihr zehnfaches Volum verdünnten Probestlüssigkeit, die in einem Bürettengrade  $t$  nur  $a = 0,00002538$  Grm. Jod enthielt, wurden in drei auf einander folgenden Versuchen zur Zerstörung desselben Maafses schwefliger Säure erfordert:

	$t$	$at$	Abweichung vom Mittel.
1ster Versuch	122,9	0,003119	+0,000010
2ter Versuch	123,4	0,003137	—0,000008
3ter Versuch	123,6	0,003132	—0,000003
	Mittel	=0,003129.	

Die größte Abweichung vom Mittel dieser Versuche beträgt daher nur 0,00001 Jod und entspricht einer Unsicherheit von nur 6 Zehnmillionstel Sauerstoff. Die Feh-

lergränze bei der Bestimmung des Sauerstoffs ist somit diesen Versuchen zufolge so weit hinausgerückt, daß sich die Menge desselben noch in weniger, als einem Zehntel Milligramme Ozon bestimmen lassen würde.

Der am meisten ins Gewicht fallende Fehler der Methode liegt daher in der Wägung. Bei dieser wurde deshalb ganz besondere Vorsicht angewendet. Es diente dazu eine neue Oertling'sche Waage, die während der ganzen Dauer der Versuche zu keinen anderen Wägungen benutzt, und durch welche sich noch ein Zehntel Milligramm mit Sicherheit ermitteln liefs. Die Waage war in einem nicht geheizten Raume von ziemlich constanter Temperatur aufgestellt. Die erste Wägung vor dem Versuch, sowie die zweite nach demselben wurde zwei bis dreimal wiederholt, nachdem der vor dem Anziehen von Feuchtigkeit geschützte Apparat jedesmal in der verschlossenen Waage längere Zeit einer constanten Temperatur ausgesetzt blieb. Die bei den Wägungen beobachteten Temperatur-Differenzen überstiegen nicht  $3^{\circ}\text{C.}$ , das Gewicht des Apparats betrug dagegen 36 bis 38 Gramme, mithin konnte der Einfluß der Temperatur vernachlässigt werden. Dagegen wurde die größte Sorgfalt darauf verwendet, vor der Wägung den vom Durchleiten des elektrolytischen Gases zurückbleibenden Sauerstoff durch einen trocknen Luftstrom zu verdrängen. Auf diese Weise ist es möglich gewesen, die Wägungen mit Genauigkeit bis auf einige Zehntel Milligramme auszuführen. Diefs entspricht einer für die gesuchte Zusammensetzung unerheblichen Unsicherheit.

Größere Schwierigkeiten, als bei der Analyse, boten sich bei der Darstellung des Ozons dar. Schwefelsäurehaltiges Wasser, durch den Strom zersetzt, liefert nicht genug Ozon, um dasselbe mit Sicherheit wiegen zu können. Dagegen entwickeln sich bei der Elektrolyse Schwefelsäurehaltiger Chromsäure solche Mengen, daß Linien dicke vulkanisirte Kautschukröhren in wenigen Minuten davon zerstört werden, und daß der mit Ozon beladene Sauerstoffstrom mit Ammoniakgas weisse Nebel bildet, die sich bei

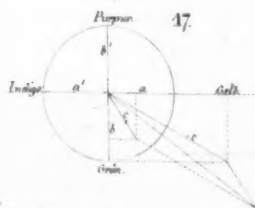
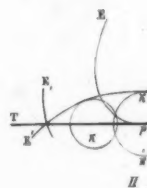
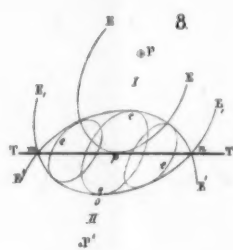
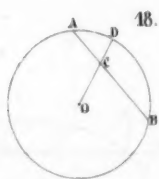
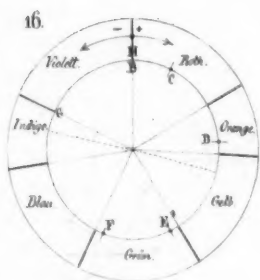
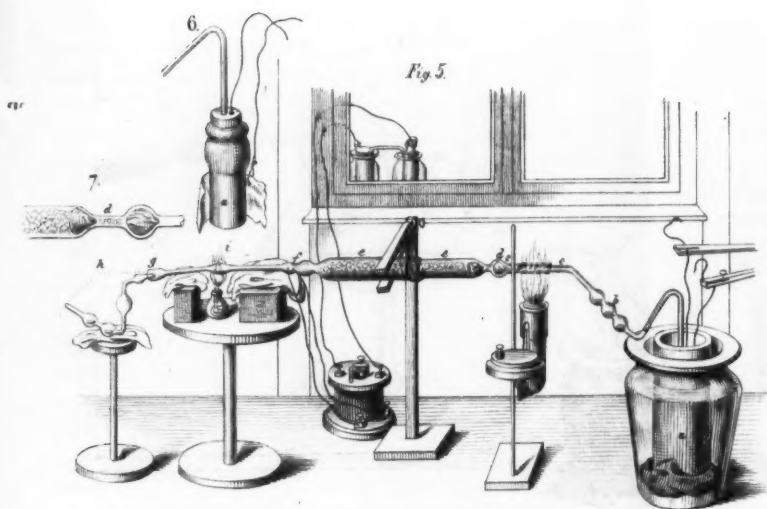
näherer Untersuchung als salpetersaures Ammoniak erwiesen. Man würde sich demungeachtet sehr irren, wenn man erwarten wollte, das Ozon auf diesem Wege isolirt erhalten zu können. Seine Menge ist vielmehr trotz dieser kräftigen Wirkungen so gering, daß es bei den sämtlichen nachfolgenden Versuchen nöthig war, nicht weniger als 7 bis 800 Litres elektrolytisches Knallgas zu entwickeln. In einem Versuch, bei dem 76 Grammen Wasser zersetzt wurden, das mit  $\frac{1}{10}$  Schwefelsäure angesäuert war, kam 1 Milligrm. Ozon auf 150 Litres Knallgas. Chromsäurelösungen, denen noch von der Bereitung Schwefelsäure anhing, lieferten in zwei Versuchen fast übereinstimmend 1 Milligrm. Ozon auf 10 Litres Knallgas. Eine weitere Schwierigkeit stellte sich gleich beim Beginn der Untersuchung ein. Sie betrifft die Verbindung der verschiedenen Apparatheile. Weder durch Kork, Kautschuk oder irgend andere organische Substanzen läßt diese sich bewerkstelligen. Es wird daher nöthig, die einzelnen Stücke des aus Glasröhren gefertigten Apparates entweder zusammenzuschmelzen, oder, wo dies nicht thunlich ist, durch Einschleifen in einander zu befestigen. Zudem muß die Gegenwart von freiem Wasserstoff in dem ozonhaltigen Gase vermieden werden, aus Gründen, die ich später angeben werde. Endlich sind sogar die Größenverhältnisse des Apparats auf gewisse Gränzen beschränkt; über diese hinaus erfordert der sich langsam bewegende Gasstrom bis zu seinem Eintritt in die Jodkaliumlösung eine Zeitdauer, die zur freiwilligen Zersetzung einer erheblichen Menge des Ozons ausreichend ist.

Die Fig. 1 Taf. I. zeigt den zu den Versuchen benutzten Apparat. Er zerfällt in drei Theile: der erste (Fig. 2) dient zur Entwicklung des ozonhaltigen Sauerstoffs, der zweite (Fig. 3) hat die Bestimmung, das Gas zu trocknen, der dritte *h* (Fig. 1) soll die Zersetzungsproducte des Ozons aufnehmen.

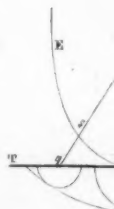
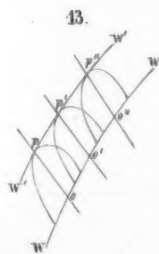
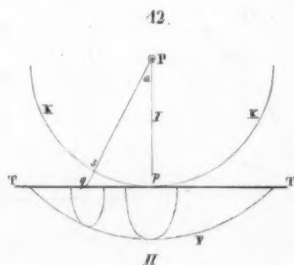
An ein weites Rohr *a* (Fig. 2), das zur Aufnahme der Thonzelle *b* bestimmt ist, schmilzt man eine Röhre, wie sie zu gewöhnlichen Gasentwicklungen dient. Etwa einen Zoll

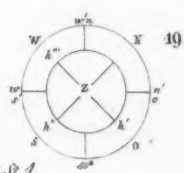
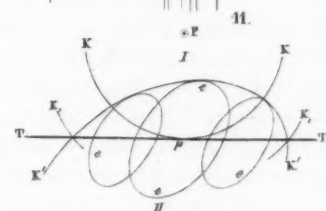
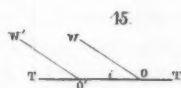
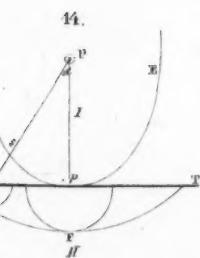
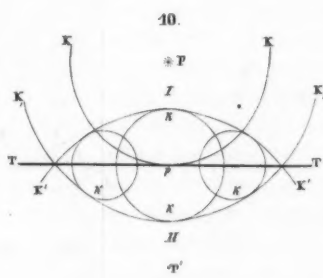
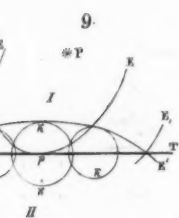
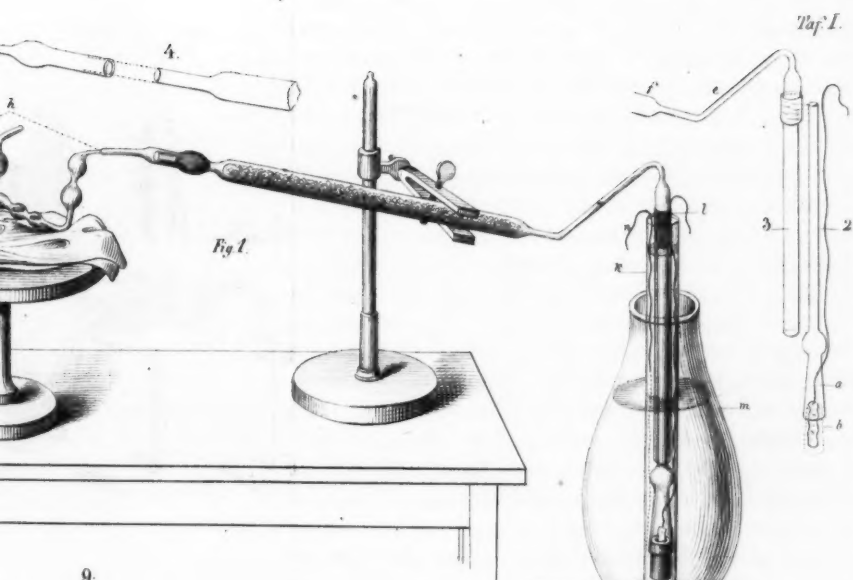
über ihrem unteren Ende ist ein Platindraht mit anhängender Platinplatte eingeschmolzen. Letztere dient als positiver Pol und reicht in die an beiden Enden offene Thonzelle hinab. Ein zweites Rohr (Fig. 3), das eben noch bequem über das vorige gestülpt werden kann, hängt durch eine dünnere Röhre *e* mit dem Trockenapparat *f* zusammen (vergl. Fig. 1). Auch hier sind die einzelnen Röhrenstücke zusammengeschmolzen. Dieses zweite Rohr (Fig. 3) stützt sich mit seinem untern Ende auf die trichterförmige Erweiterung *a* der in Fig. 2 abgebildeten Röhre, oberhalb überragt es diese um etwa 1 Zoll. Das in *f* (Fig. 3) ange deutete Trockenrohr hat die in der Abbildung (Fig. 1) angegebene Neigung, ist 3 Fufs lang und besitzt das Lumen einer weiten Verbrennungsröhre. Es enthält Bimstein, der mit chemisch reiner, concentrirter Schwefelsäure durchtränkt ist. Um die geringste Menge schwefliger Säure, die den ganzen Versuch vereiteln würde, zu zerstören, ist der Bimstein vorher mit reiner Schwefelsäure benetzt und wiederholt durchgeglüht worden. Er erfüllt das Rohr bis zum vordern Ende, während die Schwefelsäure in dem hintern abwärts geneigten Theil sich sammelt und selbst zum Theil in die engere Verbindungsröhre zurücktritt. Auf diese Weise bildet das Gas, nachdem es die Schwefelsäureschicht passirt hat, Blasen, die sich langsam durch die benetzten Bimsteinstücke hindurchziehen. Ueber das vordere Ende des Trockenrohrs wird nun eine eng anschliessende Kappe (Fig. 4) geschoben. Diese besteht aus einem weiten Reagentenglase, an welches eine engere kurze Röhre angeschmolzen ist. Letztere dient zur Aufnahme des Apparates *h* (Fig. 1), dessen Bestimmung ist, die Zersetzungsproducte des Ozons aufzusammeln. Der kleine Apparat *h* (Fig. 1) besteht seinerseits aus zwei Stücken, verbunden durch eine von zwei Korken eingeschlossene Glasröhre. Der vordere Kugelapparat enthält eine concentrirte Jodkaliumlösung, der andere, nach hinten gebogene, ist mit concentrirter Schwefelsäure gefüllt, um das mit dem Sauerstoff fortgerissene Wassergas zurückzuhalten. An dem einen Ende





Circus de









ist er in die kurze Röhre der Kappe eingeschliffen. Vor dem Beginn des Versuchs wird er an dieser Stelle ebenso wie die Glaskappe mit dem Trockenrohr luftdicht verbunden. Zu dem Ende umwickelt man die bezeichneten Stellen mit einer zollbreiten Lage von Platinfolie und überzieht diese mit einer dicken, bis auf das Glas reichenden, Siegellackschicht. An dem entgegengesetzten Ende des Kugelapparats *h* (Fig. 1), aus welchem der Sauerstoff, nachdem er durch die Schwefelsäure getreten ist, wieder ausströmt, ist noch eine, durch einen trocknen Luftstrom ausgetrocknete und mit einem Chlorcalciumrohr verbundene, Kautschukröhre angebracht, welche der Uebersichtlichkeit wegen auf der Abbildung weggeblieben ist. Endlich wird der Kugelapparat während der ganzen Dauer des Versuchs durch ein Tuch vor Staub geschützt.

Die zur Elektrolyse dienende Flüssigkeit befindet sich in einem Cylinder *k* (Fig. 1). Die Höhe dieser Flüssigkeitssäule ist dem in den verschiedenen Apparatheilen zu überwindenden Drucke angemessen.

Diese Einrichtung des ganzen Apparats bietet bei seiner Zusammenstellung grofse Vortheile dar. Nachdem zuerst das Trockenrohr mit dem daran hängenden Röhrenstück (Fig. 3) festgestellt ist, wird die Röhre Fig. 2 von unten in die weitere hineingeschoben. Um ihr Herabsinken zu verhindern, kann der Draht des positiven Pols durch einen Kautschukring *l* (Fig. 1) festgeklemmt werden. Alsdann wird die Thonzelle befestigt und zuletzt der Cylinder ebenfalls von unten nachgeschoben. Diesen selbst stellt man in ein Kühlgefäß *m* (Fig. 1). Der Cylinder wird hierauf gefüllt und schliesslich der negative Pol *n* (Fig. 1) in die Flüssigkeit hinabgesenkt. Wenn die Entwicklung der Gase bis zur Entfernung der etwa anhängenden Feuchtigkeit fortgesetzt ist, legt man den gewognen, die Jodkaliumflüssigkeit enthaltenden, Kugelapparat vor und verbindet ihn, wie bereits angegeben, luftdicht mit der Kappe.

Wie aus der Zeichnung hervorgeht, tritt allein das am positiven Pole erzeugte Gas durch den Apparat. Um nur

einigermassen wägbare Mengen Ozons zu erhalten, mußten unverhältnißmäßig große Gasvolumen durch den Apparat treten. Es war daher von besonderer Wichtigkeit, zu entscheiden, ob die vor und hinter dem Jodkalium befindlichen Trockenröhren genügten, jede Spur von Feuchtigkeit aus den sie durchströmenden Gasen zurückzuhalten. Zu diesem Zweck wurden 150 Litres elektrolytisches Knallgas, aus dem das Ozon entfernt war, durch den Apparat geleitet. Der das Jodkalium enthaltende Kugelapparat zeigte vor und nach der Wägung nur eine Gewichts Differenz von 0,0004 Grm. Bei diesem Versuch sowohl, wie bei den übrigen, wurde der aus sechs, täglich zweimal erneuerten, Kohlenzinkelementen erzeugte Strom mittelst einer eingeschalteten Tangenten-Boussole regulirt. Die absolute Intensität des Stroms, auf die Gaufs'sche Einheit bezogen, schwankte bei einer durchschnittlich siebentägigen Versuchsdauer zwischen 10,6 und 21,8. Somit bewegte sich das den Apparat durchströmende Gas langsam genug, um vollkommen ausgetrocknet zu werden.

Nach diesen Betrachtungen kann ich mich zur Analyse selbst wenden.

Wie schon erwähnt, wirkt das Ozon in der Weise auf die Jodkaliumlösung ein, daß der im Ozon mit den Elementen des Wassers verbundene Sauerstoff sein Aequivalent Jod unter Bildung von Aetzkali frei macht. Man sieht daher die Jodkaliumlösung sich nach kurzer Zeit braun färben. Indessen verschwindet diese Farbe bald wieder, indem das ausgeschiedene Jod auf das gebildete Kali zurückwirkt und die Bildung von jodsaurem Kali und Jodkalium veranlaßt. Nach längerem Durchleiten des elektrolytischen Sauerstoffs zeigt sich an den trocken gewordenen Stellen des Apparats eine krystallinische Rinde von abgetrenntem jodsaurem Kali, gemengt mit Jodkalium. Versetzt man eine solche Lösung, welche neben jodsaurem Kali und Jodkalium noch freies Jod enthält, mit Chlorwasserstoffsäure, so scheidet diese unter Bildung von Wasser das

Jod des jodsauren Kalis wieder vollkommen aus, wie die nachfolgenden Versuche zeigen.

Es wurden 9,2808 Grm. reines getrocknetes Jod zwischen zwei Uhrgläsern abgewogen, in Jodkaliumlösung gelöst, und der hundertste Theil dieser Lösung, der mithin 0,092808 Grm. Jod enthielt, mit Aetzkali bis zum Verschwinden der braunen Farbe und dann mit Salzsäure bis zum Wiedererscheinen derselben versetzt. Ein dieser Lösung zugefügtes Maafs schwefliger Säure erforderte zu seiner vollständigen Zerstörung noch  $at' = 0,0214$  Jod. Dasselbe Maafs schwefliger Säure für sich erforderte  $at = 0,1134$  Jod. Die gefundene Jodmenge betrug daher 0,092, was nur um  $\frac{8}{10}$  Milligramm von der angewandten Menge abweicht. Bei einem zweiten Versuch ergab sich  $at' = 0,0209$  Jod, was der Jodmenge 0,0925 und daher einer Differenz von  $\frac{3}{10}$  Milligramm entspricht. Da es bei diesen Versuchen nur darauf ankam, die vollständige Zersetzung des jodsauren Kalis durch Jodkalium bei Gegenwart von Salzsäure nachzuweisen, habe ich auf die Genauigkeit dieser quantitativen Bestimmung keine besondre Sorgfalt verwandt. Mifst man die Flüssigkeit genauer oder verdünnt man sie stärker, so läßt sich die Fehlergränze ebenso weit hinausrücken, wie bei den vorhergehenden Versuchen. Die Fehler fallen alsdann erst in die Hundertel Milligramme und darüber hinaus.

Man sieht daher, dafs die ausgeschiedene Jodmenge, mag sie unverbunden bleiben, oder zur Bildung von jodsaurem Kali Veranlassung geben, in beiden Fällen mit gleicher Schärfe bestimmt werden kann. Das zur Analyse benutzte Ozon wurde aus Chromsäurelösungen erzeugt, auf deren Darstellung die grösste Sorgfalt verwendet worden ist. Es kam besonders darauf an, jede Spur von Salzsäure, die zur Bildung von Chlor hätte Veranlassung geben können, zu entfernen. Bei dem *ersten* Versuch ist das mit Chromsäure und etwas reiner Schwefelsäure versetzte Wasser durch einen sechs Tage ununterbrochen wirkenden

Strom zersetzt. Es ergaben sich dabei folgende Rechnungselemente:

Gesamtgewicht des Ozons  $A=0,0133$  Grm.

$$a=0,00025387$$

$$t=55,1$$

$$t'=44,4$$

$$n=10$$

Hieraus berechnet sich  $w=0,008109$

$$\text{und } A-w=0,005191$$

Ein *weiter* unter ähnlichen Verhältnissen angestellter Versuch, bei welchem jedoch der Strom 8 Tage wirkte, ergab:

Gesamtgewicht des Ozons  $A=0,0149$  Grm.

$$a=0,00025387$$

$$t=246,5$$

$$t'=121,8$$

$$n=3$$

Hieraus berechnet sich  $w=0,009887$

$$\text{und } A-w=0,005013$$

Aus diesen Zahlen leitet sich als einfachster Ausdruck für die Zusammensetzung des Ozons die Formel  $\text{HO}_3$  ab.

Drückt man die Zusammensetzung des Ozons in Procenten aus, so ergiebt sich:

	Berechn.	Gef. I.	Gef. II.	Mittel.
1 Aeq. H	4,00	4,34	3,76	4,00
3 Aeq. O	96,00	95,66	96,24	96,00
		100,00.		

Wir haben somit folgende Oxydationsreihe des Wasserstoffs:



Nach der Stelle, welche das Ozon in dieser Reihe einnimmt, würde man es für eine Säure halten können, die sich nicht unpassend als hydrogenige Säure bezeichnen liefse. Als solche bietet sie mit der salpetrigen Säure einige Analogie dar. Was bei der salpetrigen Säure zum  
Theil

Theil der Fall ist, das scheint beim Ozon immer einzutreten, nämlich die Zersetzung beim directen Zusammenbringen mit Basen. Aus diesem Grunde ist es mir nicht gelungen, salzartige Verbindungen des Ozons mit Basen zu erzeugen. Vielmehr charakterisirt sich das Ozon durch sein chemisches Verhalten als ein Wasserstoffsuperoxyd. Metalloxyde, die einer höhern Oxydation fähig sind, die also entweder Superoxyde oder Säuren bilden können, werden in Berührung mit Ozon in Superoxyde und Säuren verwandelt. Das Ammoniak wird zu salpetersaurem Ammoniak oxydirt, das Quecksilber bildet Quecksilberoxyd, ohne eine salzartige Verbindung einzugehen. Auf die Metalloxyde der Magnesiagruppe scheint es ohne alle Einwirkung zu seyn. Der Farbestoff des Lackmus wird zerstört ohne vorübergehende Röthung. Das Ozon giebt endlich bei Gegenwart leicht oxydirbarer Stoffe seinen Sauerstoff an diese ab, während sich Wasser ausscheidet. Dieses Verhalten macht es nöthig, den durch Elektrolyse des Wassers gebildeten Wasserstoff bei der Darstellung des Ozons auszuschliessen. Versuche, bei denen Knallgas durch den beschriebenen Apparat getreten war, ergaben bei der Analyse immer einen Ueberschuß an Wasser. Da in diesen Versuchen die übrigen Bedingungen sich nicht geändert hatten, so läßt sich diese Wasserbildung nur durch eine directe Verbindung des freien Wasserstoffs mit dem im Ozon überschüssig vorhandenen Sauerstoff erklären. — Nach allem, was ich bisher erwähnte, kann es wohl keinem Zweifel mehr unterliegen, daß der Wasserstoff im Ozon als ein wesentliches Element enthalten ist. Erwägt man die Verhältnisse, unter denen das Gas den Apparat durchströmte, so läßt sich ohnehin schon hieraus der Schluß ziehen, daß der gefundene Wasserstoffgehalt nicht von fortgeführtem Wasserdampf herrühren konnte; denn dieses Gas durchströmte vor seinem Eintritt in den Kugelapparat ein fünfmal so langes Schwefelsäurerohr, als bei seinem Austritt aus demselben. Der Kugelapparat hätte daher nur weniger wiegen können, als dem durch Titrirung gefundenen Ge-

wichte des Sauerstoffs entspricht, niemals aber mehr. Ein letzter Einwand, der diesen Versuchen entgegengehalten werden könnte, gründet sich auf die Tension der Schwefelsäuredämpfe, welche möglicherweise hätte groß genug seyn können, um mit den Gasen freie Schwefelsäure in den Jodkaliumapparat hinüberzuführen. Um diesem Einwand zu begegnen, habe ich durch das angewandte Trockenrohr 50 Litres atmosphärische Luft in raschem Strome treten lassen und den mit destillirtem Wasser gefüllten Kugelapparat vorgelegt. Nicht die leiseste Trübung konnte nach Beendigung des Versuches durch eine Chlorbariumlösung erhalten werden.

Bei der Ungewissheit, die über die Identität der unter dem Namen Ozon zusammengefaßten Stoffe besteht, muß es immer zweifelhaft erscheinen, ob der Körper, welchen man beim Ueberschlagen elektrischer Funken durch ausgetrocknetes Sauerstoffgas erhalten hat, wirklich die eben untersuchte Verbindung ist. Ihre Bildung würde unter diesen Verhältnissen nur durch die Voraussetzung erklärt werden können, daß das getrocknete Gas noch Spuren von Feuchtigkeit enthalten habe. Liefse sich dagegen erweisen, daß der durch den elektrischen Funken erzeugte riechende Stoff in einer vollkommen von Wasserdampf befreiten Atmosphäre dadurch entsteht, daß der Sauerstoff durch eine ungeheure aber momentane Temperaturerhöhung, wie sie bei dem elektrischen Funken auftritt, in einen allotropischen, durch eine gesteigerte Verbindungsfähigkeit charakterisirten, Zustand überginge, so würde damit eine höchst einfache Beziehung desselben zu dem eben als ein Wasserstoffsuperoxyd nachgewiesenen Ozon gegeben seyn. Dasselbe wäre dann nichts anderes, als auf Kosten des allotropischen Sauerstoffs oxydirtes Wasser, und würde also stets da entstehen, wo dieser allotropische Sauerstoff bei niederen Temperaturen mit Wasser in Berührung kommt, so daß der allotropische Sauerstoff seinen Geruch eben dieser Bildung des Ozons verdankte. Die Entscheidung dieser Frage liegt daher in der Führung des Beweises,

dafs bei völligem Ausschlufs von Wasserdampf der vom elektrischen Funken durchströmte Sauerstoff wirklich eine Verbindungsfähigkeit erlangt, die grofs genug ist, um schon bei gewöhnlicher Temperatur die stärksten Verwandtschaften z. B. des Chlors und Jods zum Kalium zu überwinden. Es war daher vor Allem erforderlich, die Gränze zu bestimmen, bis zu welcher der Wasserdampf sich aus einer Sauerstoffatmosphäre entfernen läfst. Dazu bietet die oben festgestellte Zusammensetzung des Ozons und die durch einen Phosphorsäurehauch erzeugte Reaction das einfachste und sicherste Mittel dar. Es wurde zu diesem Zweck in der im Eingang mitgetheilten Weise eine enge lange Glasröhre mit einem hauchartigen Anflug von wasserfreier Phosphorsäure bestäubt. Von einem Gase durchströmt, das nur geringe Spuren Wasserdampf enthält, verschwindet, wie bekannt, dieser Hauch nach der Richtung des strömenden Gases hin, indem die mikroskopischen weissen Phosphorsäuretheilchen bei ihrer Verbindung mit Wasser durchsichtig werden. Es läfst sich nachweisen, dafs auf diese Art noch einige Zehntausendtel Milligramme Wasserdampf sichtbar gemacht werden können. Aus früher angegebenen Versuchen ergibt sich nämlich, dafs Ozon bei einer mässigen Temperaturerhöhung in Wasser- und Sauerstoff zerfällt, und dafs das Wasser, welches bei dieser Zersetzung in einem Kubikcentimeter elektrolytischen Sauerstoffgases abgeschieden wird, durch dieses Mittel noch deutlich nachgewiesen werden kann, obgleich seine Menge ohngefähr ein Zehntausendtel Milligrm. beträgt.

Um eine erhebliche Menge des zu untersuchenden Stoffs zu erhalten, war es nöthig, eine sehr ergiebige Elektrizitätsquelle zur Erzeugung eines Funkenstroms zu benutzen. Ich habe mich dazu einer vortrefflichen Inductionsspirale von Halske und Siemens bedient, welche Inductionsströme von solcher Kraft liefert, dafs an den Enden des ungeschlossenen secundären Drahtes Funken von fast einer Linie Länge bei der Unterbrechung des primären Stromes überschlagen. Diese Unterbrechung wurde wie gewöhnlich

mittelst eines kleinen Hammers und Elektromagneten durch den vorhandenen Strom selbst herbeigeführt. Die Zahl dieses Wechsels und der dadurch erzeugten Funken liefs sich aus dem Tone leicht berechnen, welchen die Schwingungen des kleinen Hammers verursachten. Dieser Ton, welcher natürlich an Höhe und Tiefe nach Umständen wechselte, war durchschnittlich *E* in der grossen Octave. Aus der Zahl der Schwingungen, die diesem Tone entsprechen, ergiebt sich ein 82facher Wechsel in der Sekunde, was mithin für die Dauer des Versuchs von 4 Stunden mehr als zwei Millionen überschlagenden Funken entspricht. Der Apparat, in welchem dieser Funkenstrom benutzt wurde, ist in Fig. 5 abgebildet.

Die Thonzelle *a*, die Fig. 6 Taf. I genauer gezeichnet ist, enthält den positiven Platinpol und steht in einem mit verdünnter Schwefelsäure und etwas Eisenvitriol gefüllten, von aussen abgekühlten Glasgefäfs. Dieses nimmt den negativen Pol ausserhalb der Zelle in der Weise auf, dafs der abgeschiedene Wasserstoff vollständig vom Sauerstoff getrennt ist. Das Sauerstoffgas streicht durch den kleinen mit Schwefelsäure gefüllten Kugelapparat *b* (Fig. 1 Taf. I) in die Röhre *c*, welche in ihrer Mitte mit einem feinen Platinblech unwickelt und vermittelst einer Berzelius'schen Spirituslampe während der ganzen Dauer des Versuchs stark rothglühend erhalten wurde. Dadurch wurde das etwa gebildete Ozon, sowie der möglicherweise durch Diffusion mit fortgeführte Wasserstoff in Wasser umgesetzt. Von diesem Theile des Apparats gelangt der Strom in die mit Jodkaliumstücken gefüllte Kugel *d* (Fig. 7 Taf. I), welche durch einen ausgeglühten Asbestpfropf von der mit staubiger, chemisch reiner Phosphorsäure gefüllten Röhre *e* getrennt ist. Das in diesen beiden Apparaththeilen vollständig von Ozon und Wasserdampf befreite Gas tritt endlich in die kleine, eine halbe Linie im Durchmesser habende, Röhrenverweiterung *f*, in der die zum Ueberschlagen der Funken mit dem Inductionsapparat verbundenen Platindrähte eingeschmolzen sind. Dieser Theil des Apparats wurde



mit dem aus einem Röhrenstücke geblasenen vordern Theile auf die bereits früher besprochene Weise verbunden, und das ganze, die Platindrähte enthaltende, Rohr mit einem Hauch wasserfreier Phosphorsäure beschlagen. In den vordern verdickten Ansatz *g* dieses Rohrs war der kleine mit Jodkaliumlösung gefüllte Kugelapparat *h* luftdicht eingeschlossen.

Das bei den Versuchen befolgte System war Folgendes: Zuerst wurde mittelst der Polplatten drei Stunden lang, während der Röhrentheil *c* glühte und die Inductionsrolle außer Thätigkeit war, ein Sauerstoffstrom mit angemessener Schnelligkeit durch den Apparat getrieben. Weder das Jodkalium in der Kugel *d*, noch der Phosphorsäureanflug in der vordersten Röhre *fg* zeigten die leiseste Veränderung. Da der Phosphorsäureanflug noch ein Zehntausendtel Milligramm Feuchtigkeit anzeigt und mindestens 4000 C. C. Sauerstoff das Rohr in 4 Stunden durchströmten, so kann man es als ausgemacht ansehen, daß 1 C. C. des Gases nicht einmal drei Zehnmilliontel Milligramm Feuchtigkeit mehr enthalten konnte. Die Jodkaliumlösung im Kugelapparat *h* blieb nicht nur vollkommen farblos, sondern zeigte auch auf Zusatz von Salzsäure und Stärkelösung keine Spur einer blauen Färbung. Hieraus läßt sich der Schluß ziehen, daß elektrolytisches Sauerstoffgas, bei niedriger Temperatur, weder Jodkaliumlösung zersetzt, noch unter den vorhandenen Umständen eine Spur von Ozon mit sich führte.

Der Versuch wurde nun mit dem einzigen Unterschiede, daß der Funkenstrom zwischen den eingeschmolzenen Drähten überging, wiederholt, nachdem zuvor der möglicherweise bei der Abnahme des Kugelapparats in die vordere Röhre eingedrungene Stickstoff durch den Sauerstoffstrom wieder vollkommen verdrängt war. Schon nach den ersten Minuten wurde die Jodkaliumlösung merklich gelb und bereits nach einer Stunde konnte 1 Milligrm. freies Jod in derselben nachgewiesen werden. Der Phosphorsäureanflug des

Funkenrohrs zeigte auch jetzt während der ganzen Dauer des Versuchs nicht die leiseste Veränderung.

Nun wurde der Kugelapparat zum dritten Male mit frischer Jodkaliumlösung gefüllt und die Entfernung des eingedrunghenen Stickstoffs, wie früher, abgewartet. Der Versuch wurde genau in derselben Weise wiederholt, die Inductionsrolle in Thätigkeit erhalten, das Funkenrohr bei i dagegen der Flamme einer kleinen Spirituslampe ausgesetzt. Die Jodkaliumlösung zeigte nun auch nicht die leiseste gelbe Färbung, und selbst nach Verlauf einer Stunde konnte auf Zusatz von Salzsäure und Stärkelösung nicht die geringste Bläuung derselben wahrgenommen werden. Nach der Entfernung des vorgelegten Jodkaliumapparates liefs sich das dem Rohr entströmende Gas leicht durch den Geruch prüfen. Durch dieses Mittel konnte auch nicht die geringste Spur von Ozon erkannt werden, in dem Augenblicke aber, als die Erhitzung bei i unterbrochen wurde, zeigte sich der penetranteste Ozongeruch, der nach Unterbrechung des Funkenstroms sogleich verschwand, mit demselben aber jedesmal augenblicklich zurückkehrte.

Die Menge des im vorigen Versuch nach einer Stunde ausgeschiednen Jods überwiegt, den früheren Betrachtungen gemäfs, die aus einer Verunreinigung mit Wasserdampf mögliche Ozonmenge um mehr als das neunfache. Hieraus kann geschlossen werden, dafs es wirklich einen allotropischen Sauerstoff giebt, der bei gewöhnlichen Temperaturen mit einer Verwandtschaft begabt ist, welche an Stärke sogar die des Chlors übertrifft.

Die Bedingungen, unter denen diese Allotropie des Sauerstoffs auftritt, sind sehr merkwürdig. Bei fast allen übrigen Körpern ist die durch Temperaturerhöhung bewirkte Allotropie durch eine auffallende Schwächung der Verwandtschaft charakterisirt. Hier dagegen sehen wir durch eine Temperaturerhöhung von der höchsten Intensität und kürzesten Dauer einen Zustand hervortreten, der gerade umgekehrt durch eine Steigerung der Verwandtschaft bezeichnet ist. Dafs dieser Zustand nur in den höchsten Tem-

peraturen erzeugt wird und, einmal erzeugt, bei der Erwärmung von nicht einmal  $200^{\circ}$  schon wieder verschwindet, ist nicht minder merkwürdig, obwohl erklärlich. Der Uebergang des allotropischen Phosphors in gewöhnlichen Phosphor erfolgt nicht momentan, sondern in einem länger dauernden Zeitraum. Ebenso kann sehr wohl der bei der hohen Temperatur des elektrischen Funkens allotropisch gewordne Sauerstoff bei rascher Abkühlung das Intervall von jener Temperatur bis zu  $200^{\circ}$  ohne vollständige Zurückführung in den gewöhnlichen Zustand durchlaufen, wenn die Dauer der Abkühlung schneller ist, als die Zeit, deren er bedarf, um in jenem Temperaturintervall in die gewöhnliche Modification zurückzukehren. Es wird daraus verständlich, wie immer nur ein so geringer Bruchtheil des gesammten Sauerstoffs in dem bleibenden Zustande jener Allotropie erhalten wird, und wie dieser Zustand bei Temperaturen über  $200^{\circ}$  so leicht wieder verschwindet. Es steht zu erwarten, daß die Temperatur, bei welcher das Ozon in Wasser und Sauerstoff zerfällt, und diejenige, bei welcher der allotropische Sauerstoff in gewöhnlichen übergeht, nicht dieselbe ist. Ich hoffe auf diesen Gegenstand später noch einmal zurückzukommen. Bei der vorstehenden, im Heidelberger Laboratorium ausgeführten, Untersuchung hatte ich mich des gütigen Rathes des Hrn. Professor Bunsen zu erfreuen, für welchen ich ihm meinen wärmsten Dank ausspreche.

---

### III. *Zweiter Beitrag zur Katoptrik und Dioptrik krystallinischer Mittel mit einer optischen Axe; von Beer in Bonn.*

Die Formeln, welche Malus und Biot für die Bewegung des Lichtes in krystallinischen Mitteln aufgestellt haben, setzen uns zwar in den Stand, in dem jedesmal gegebenen Falle den reflectirten oder gebrochenen Strahl seiner Richtung nach zu bestimmen; dahingegen halten sie gewissermaßen viele allgemeine Lehrsätze versteckt, deren Kenntniß wesentlich dazu beitragen würde, einen allgemeineren Ueberblick über die Brechungs- und Spiegelungsgesetze dieser Mittel zu gewinnen. Einige solcher Sätze habe ich bereits in dem zweiten Hefte des Bandes 88 dieser Annalen veröffentlicht; weitere Ergebnisse, die sich auch wieder auf Mittel mit einer einzigen optischen Axe und mit ebenen Begrenzungsflächen beschränken, lege ich in diesem Aufsätze nieder.

#### 1. *Spiegelbilder eines leuchtenden Punktes, der sich im Innern einer einaxigen Krystallplatte befindet.*

In der Fig. 8 Taf. I. stelle  $P$  einen leuchtenden Punkt dar, dessen Licht auf die Ebene  $TT$  fällt, welche das krystallinische Mittel I von dem Mittel II trennt, dessen optische Beschaffenheit für unseré Frage unbestimmt bleiben kann. Von dem Oscillationscentrum  $P$  breiten sich ordentliche sphärische und außerordentliche ellipsoidische Wellen aus. Eine von den letzteren sey  $E$ , und sie berühre die Trennungsfläche im Punkte  $p$ . Während sich die Welle  $E$  ausbreitet, werden immer neue Punkte der Ebene  $TT$  von eben dieser Welle getroffen und treten als ebenso viele neue Oscillationscentra auf; es entwickeln sich insbesondere aus ihnen Wellenflächen, die sich in das Mittel I hinein ausbreiten, und deren gedoppelte Umhüllungsfläche die Wellenfläche der von  $E$  angeregten reflectirten Lichtbe-

wegung ist. Zunächst wird es sich darum handeln, diese Enveloppe zu finden. Wie verfahren zu dem Ende wie folgt, indem wir vorerst nur die außerordentlichen Oscillationen im Auge behalten. Für einen Augenblick denken wir uns das zweite Mittel als mit dem ersten identisch, und fragen uns, welches ist der Ort der Welle  $E$  nach irgend einer Zeit  $t$ ? Um die einzelnen Punkte von  $E$  als Mittelpunkte construiren man die der Zeit  $t$  entsprechenden ellipsoïdischen Wellenflächen des Mittels  $I$ , die unter einander gleich und mit  $E$  ähnlich und ähnlich liegend sind. Die äußere Enveloppe  $E_t$  ist der Ort der Welle  $E$  zur Zeit  $t$ . Den Theil  $mon$  der Welle  $E_t$  erhalten wir aber auch, wenn wir um die Punkte des Theiles  $mn$  der Trennungsfläche die ellipsoïdischen Wellen  $e$  construiren, die mit  $E$  ähnlich und ähnlich liegend sind, und die den Zeiten entsprechen, welche bis zur Zeit  $t$  von den einzelnen Momenten an verfließen, wo die Punkte des ebenen Stückes  $mn$  von der Welle  $E$  getroffen werden. Die eine Umhüllende dieser Elementarwellen muß nothwendig mit  $E_t$  zusammenfallen; was aber ihre zweite Enveloppe  $E'$  betrifft, so ist klar, daß diese nichts Anderes ist, als die Wellenfläche für denjenigen Theil des reflectirten Lichtes, welcher aus den von der Welle  $E$  und ihren Correspondenten erregten außerordentlichen Oscillationen besteht. Verschieben wir die Welle  $E_t$  in der Richtung  $Pp$ , bis ihr endlicher Durchschnitt mit  $TT$  in ihren ursprünglichen Durchschnitt fällt, so fallen auch die Flächen  $E_t$  und  $E'$  ganz zusammen. Die Fläche  $E_t$ , also auch  $E'$  ist ein mit  $E$  ähnliches und ähnlich gelegenes Ellipsoid, und die Verbindungslinie  $PP'$  der Mittelpunkte von  $E_t$  und  $E'$  ist ein der Ebene  $TT$  in Bezug auf das Ellipsoid  $E_t$  oder, was dasselbe heißt, in Bezug auf die außerordentliche Wellenfläche conjugirter Durchmesser der letzteren. Endlich ist auch noch  $Pp = pP'$ . Aus allem diesen folgt: Ein Theil des Lichtes, welches als außerordentliche Oscillationen vom Punkte  $P$  ausgeht, wird, ebenfalls als außerordentliche Oscillationen, von der Trennungsfläche so zurückgestrahlt, als käme es von einem

Punkte  $P$ , den wir das *außerordentliche Spiegelbild* von  $P$  nennen wollen. Dieses Bild liegt ebenso weit hinter der spiegelnden Fläche, als der leuchtende Punkt vor derselben, und die Verbindungslinie  $PP$  hat die Richtung desjenigen Durchmessers des ellipsoidischen Theiles der Wellenfläche, welcher der spiegelnden Ebene conjugirt ist.

Die Oscillationen der betrachteten Welle  $E$  erregen aber nicht bloß die ellipsoidischen Elementarwellen  $e$ , Fig. 8 Taf. I, sondern auch die denselben entsprechenden kugligen Wellen  $k$ , Fig. 9. Und die Enveloppe  $E'$  der letzteren liefert uns für die Zeit  $t$  die Wellenfläche eines zweiten Theiles von reflectirtem Lichte, desjenigen nämlich, welches aus ordentlichen Oscillationen besteht, die aber von außerordentlichen Wellen angeregt werden. Der Grad der Fläche  $E'$  übersteigt im Allgemeinen den zweiten. Die Strahlen dieses reflectirten Lichtes besitzen eine eigentliche Brennfläche, und zwar ist dieß diejenige Fläche, welche von den Normalen der Fläche  $E'$  berührt wird, denn die in der Zeit aufeinanderfolgenden Oerter der Welle  $E'$  sind Parallelflächen, weil die Elementarwellen von sphärischer Gestalt sind.

Gehen wir jetzt zur Betrachtung der ordentlichen Wellen über, die vom leuchtenden Punkte ausgehen. Eine derselben ist die Kugelfläche  $K$ , Fig. 10 Taf. I., welche die spiegelnde Ebene in  $p$  berührt. Wie im Vorhergehenden schließen wir, daß die Kugeln  $k$ , deren Mittelpunkte auf  $TT$  liegen, und welche die Kugelfläche  $K$ , in die sich  $K$  nach der Zeit  $t$  verwandelt hat, berühren, anzusehen sind als die Elementarwellen für denjenigen Theil des reflectirten Lichtes, welcher aus ordentlichen Oscillationen besteht. Die zweite Enveloppe  $K'$  dieser Wellen ist die Wellenfläche des reflectirten Lichtes; sie ist eine Kugelfläche von derselben Größe wie  $K$  und mit dieser in Bezug auf  $TT$  symmetrisch gelegen. Dieser Theil reflectirten Lichtes ist somit wieder homocentrisch, und sein Centrum ist das *gewöhnliche Spiegelbild* des Punktes  $P$ .

Construirt man endlich zu den Kugeln  $k$  der 10. Figur die zugehörigen ellipsoidischen Hälften  $e$ , Fig. 11, der Ele-

mentarwellen, so ist deren Enveloppe  $K'$  die Wellenfläche der von  $K$  angeregten, reflectirten, außerordentlichen Strahlen zur Zeit  $t$ . Die Fläche  $K'$  ist von einem höheren Grade als dem zweiten. Dieser Theil des reflectirten Lichtes besitzt eine eigentliche Brennfläche. Ueber die Verhältnisse seiner Strahlen und Wellen siehe die folgende Nummer.

Indem wir zusammenfassen, erhalten wir folgenden Satz: *Das Licht, welches einem leuchtenden Punkte entströmt, der sich im Innern eines optisch einaxigen Mittels befindet, zerfällt, nachdem es an einer ebenen Begränzungsfläche eine Reflexion erlitten, in vier verschiedene Gruppen von Strahlen. Eine erste Gruppe besteht aus ordentlichen Strahlen, die aus dem ordentlichen Spiegelbilde des Punktes divergiren. Eine zweite Gruppe wird ebenfalls von ordentlichen Strahlen gebildet, die aber von einer Brennfläche ausgehen. Die dritte Gruppe besteht aus außerordentlichen homocentrischen Strahlen; das Centrum dieser Strahlen ist das außerordentliche Spiegelbild des leuchtenden Punktes. Die vierte und letzte Gruppe endlich setzt sich ebenfalls aus außerordentlichen Strahlen zusammen; es divergiren die letzteren aber nicht aus einem eigentlichen Spiegelbilde, sondern aus einer katakustischen Fläche. Zum Ueberflusse bemerken wir, daß die zweite und letzte Gruppe von Strahlen gleichwohl ein Bild des leuchtenden Punktes werden erblicken lassen, so daß im Ganzen vier Bilder zum Vorschein kommen müssen.*

2. *Diakustika für homocentrisches Licht beim Uebergange aus einem isotropen Mittel in eine senkrecht zur einzigen optischen Axe geschnittene Krystallplatte.*

In Fig. 12 sey  $P$  der leuchtende Punkt,  $TT$  die Trennungsfläche. Rechnen wir die Zeit von dem Momente an, wo die kugelige Welle  $K$  die Fläche  $TT$  im Punkte  $p$  berührt, so ist die Gleichung der außerordentlichen Elementarwelle, die sich, von der Welle  $K$  angeregt, nach der Zeit  $t$  um  $p$  gebildet hat:

$$\frac{x^2}{v_1^2} + \frac{r^2}{v_2^2} = t^2.$$

Es bedeutet hier  $z$  die in der Richtung des Lothes  $Pp$  gerechnete Coordinate,  $r$  die senkrechte Entfernung von dem Lothe; ferner stellt  $v_1$  die Geschwindigkeit der ordentlichen Wellen,  $v_2$  die davon am meisten abweichende Geschwindigkeit der außerordentlichen Wellen dar.

Die Elementarwelle, welche sich zur Zeit  $t$  um einen zweiten Punkt  $q$  der Ebene  $TT$  gebildet hat, ist von diesem Punkte später ausgegangen als die ersterwähnte Welle vom Punkte  $p$ , und zwar um so viel später, als das Licht Zeit gebraucht um von  $s$  nach  $q$  zu gelangen. Diese Zeit ist aber, wenn  $v$  die Geschwindigkeit des Lichtes im Mittel I bedeutet,  $\frac{qs}{v} = \frac{qP - pP}{v} = \frac{pP}{v} \left( \frac{1}{\cos \alpha} - 1 \right)$ . Die Gleichung der zur Zeit  $t$  um  $q$  gelegenen Elementarwelle ist hiernach, wenn wir noch  $pP = h$  setzen:

$$\frac{z^2}{v_1^2} + \frac{(r - h \tan \alpha)^2}{v_2^2} = \left( t + \frac{h}{v} - \frac{h}{v \cos \alpha} \right)^2;$$

und dies ist,  $\alpha$  als variabel gedacht, die allgemeine Gleichung der Elementarwellen.

Für die Zeit  $t = -\frac{h}{v}$  (dafs dieser Werth negativ ist, und die ihm entsprechenden Elementarwellen von  $K$  in Wirklichkeit nicht angeregt werden können, hat offenbar auf das Endresultat keinen Einfluss) wird die allgemeine Gleichung der Elementarwellen:

$$\frac{z^2}{v_1^2} + \frac{(r - h \tan \alpha)^2}{v_2^2} = \left( \frac{h}{v \cos \alpha} \right)^2.$$

Bilden wir die Derivirte dieser Gleichung in Bezug auf den veränderlichen Parameter  $\alpha$ , so kommt:

$$\tan \alpha = \frac{rv^2}{h(v^2 - v_2^2)}.$$

Und die Substitution dieses Werthes in die primitive Gleichung liefert für die Enveloppe der Theilwellen, also für die Wellenfläche der außerordentlich gebrochenen Strahlen zur Zeit  $-\frac{h}{v}$  die Gleichung:

$$F \equiv z^2 \frac{v^2}{v_1^2 h^2} + r^2 \frac{v^2}{(v^2 - v_2^2) h^2} - 1 = 0.$$



Die Wellenfläche der außerordentlich gebrochenen Strahlen ist hiernach zur Zeit  $-\frac{h}{v}$  eine Rotationsfläche zweiten Grades, deren Hauptaxe in das Loth  $Pp$ , und deren Mittelpunkt in dessen Fußpunkt  $p$  fällt. Sie wird ein Ellipsoid, wenn  $v_2$  größer, und ein zweischaliges Hyperboloid, wenn  $v_2$  kleiner als  $v$  ist. Je nachdem der absolute Werth von  $v_1^2$  größer oder kleiner als der von  $v_2^2 - v^2$  ist, wird die Fläche in der Richtung der Rotationsaxe verlängert oder verkürzt seyn. In dem besonderen Falle, wo für den Uebergang des Lichtes aus dem Mittel I in das Mittel II der Hauptbrechungsindex der außerordentlichen Strahlen der Einheit gleich ist, d. h. wenn  $v_2 = v$  ist, ergibt sich aus der primitiven und derivirten Gleichung  $x=0$  und  $y=h \cdot \frac{v_1}{v}$ . Alsdann geht die Diakaustika der gebrochenen Strahlen in einen Punkt über; diese Strahlen werden homocentrisch, und zwar liegt ihr Centrum senkrecht unter dem leuchtenden Punkte in einer Entfernung von der brechenden Ebene, die sich zu der des leuchtenden Punktes wie die Geschwindigkeit der ordentlichen Strahlen im Krystalle zur Geschwindigkeit des Lichtes im isotropen Mittel verhält.

Da wir jetzt die Gestalt der Wellenfläche für eine bestimmte Zeit kennen, so ist es leicht, dieselbe für eine jede Zeit zu bestimmen, sowie auch den zugehörigen Strahlencomplex und die zugehörige Diakaustika. Auf die bezügliche Construction glauben wir um so eher etwas näher eingehen zu dürfen, da sie in Manchem von den gewöhnlichen Verhältnissen (in isotropen Mitteln) abweicht.

Beschreiben wir um die einzelnen Punkte der Fläche  $F$  lauter gleiche und gehörig gelegene Wellensphäroide, wie sie der Zeit  $\tau + \frac{h}{v}$  entsprechen, so ist deren Enveloppe die Wellenfläche der außerordentlichen Strahlen für die Zeit  $\tau$ . Die letzteren stehen zu ihrer Wellenfläche in einer ganz anderen Beziehung wie in einfach brechenden Mitteln. Hier nämlich verbleiben die Strahlen senkrecht zur Wellen-

fläche, demzufolge sind die verschiedenen Wellen Parallelflächen, und die gemeinsame Evolute der letzteren ist die Brennfläche des Strahlencomplexes. In Krystallen aber ändert sich die Neigung der Strahlen gegen ein und dieselbe Wellenfläche von einem Punkte der letzteren zum andern. In der That, es sey  $WW$ , Fig. 13 Taf. I, die Wellenfläche eines außerordentlichen Strahlencomplexes für die Zeit  $t$ . Man construire um ihre einzelnen Punkte  $o$ ,  $o'$ ,  $o''$  gleiche und gehörig gelegene Wellenflächen, wie sie der Zeit  $\tau$  entsprechen. Ihre Enveloppe  $W'W'$  ist die Lage der Welle  $WW$  zur Zeit  $t + \tau$ , und es besteht der zu  $WW$  und  $W'W'$  gehörige Strahlencomplex aus den Strahlen  $op$ ,  $o'p'$ ,  $o''p''$ , wenn  $p$ ,  $p'$ ,  $p''$  die Berührungspunkte der Elementarwellen und ihrer Enveloppe sind. Man sieht aber leicht ein, daß die Tangentialebenen der Fläche  $WW$  in den Punkten  $o$ ,  $o'$ ,  $o''$  parallel sind den Tangentialebenen der Fläche  $W'W'$  in den Punkten  $p$ ,  $p'$ ,  $p''$ , und daß die Strahlen  $op$ ,  $o'p'$ ,  $o''p''$  nichts Anderes sind, als die jenen Tangentialebenen conjugirten Radien der ellipsoidischen Elementarwellen. Wollen wir hiernach die zu der oben gefundenen Fläche  $F$  zugehörigen Strahlen erhalten, so ziehen wir an  $F$  alle möglichen Tangentialebenen  $t_1$ ,  $t_2$ ... und mit ihnen parallel die Tangentialebenen  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ... an die Wellenfläche des krystallinischen Mittels. Ferner ziehen wir die Radien der letzten Fläche, welche in den Berührungspunkten von  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ ... auslaufen. Endlich legen wir durch die Berührungspunkte der Ebenen  $t_1$ ,  $t_2$ ... gerade Linien mit je einem entsprechenden Radius parallel. Die so gewonnenen Geraden machen den verlangten Strahlencomplex aus, und der Inbegriff der Durchschnitte von je zwei nächst aneinander gelegenen Strahlen ist die Brennfläche des Complexes; letztere ist keineswegs die Evolute der Wellenfläche.

Um auch noch einen Einblick in die Verhältnisse des vom Mittel II ordentlich gebrochenen Lichtes, also auch in den Fall der einfachen Brechung zu gewinnen, brauchen wir bloß in den obigen Entwicklungen  $v_2 = v_1$  zu setzen.

Für die Wellenfläche der ordentlichen Strahlen zur Zeit  $-\frac{h}{v}$  ergibt sich daun:

$$F \equiv z^2 \cdot \frac{v^2}{v_1^2 h^2} + r^2 \cdot \frac{v^2}{(v_1^2 - v^2) h^2} - 1 = 0.$$

Die Wellenfläche der ordentlich gebrochenen Strahlen für die Zeit  $-\frac{h}{v}$  ist hiernach, je nachdem  $v_1$  größer oder kleiner als  $v$  ist, ein verlängertes Rotations-Ellipsoid oder ein verlängertes zweischaliges Rotations-Hyperboloid, dessen Axe das Loth  $Pp$ , dessen Mittelpunkt der Fußpunkt  $p$  dieses Lothes ist, und von dessen Brennpunkten einer in den leuchtenden Punkt  $P$  fällt. Da nun weiter die Elementarwellen sphärisch sind, so folgt noch, daß die Wellenfläche während der Fortpflanzung stets der erwähnten Fläche zweiten Grades parallel bleibt, sowie endlich daß die Diakautika der Strahlen die Evolute jener Fläche ist. Das letzte Ergebniss ist längst bekannt; wir sind aber hier zu demselben auf einem viel kürzeren Wege gelangt, als es möglich ist, wenn man — wie dies gewöhnlich geschieht — von dem Descartes'schen Gesetze ausgeht. Vergl. Magnus, Sammlung von Aufgaben aus der analyt. Geometrie, §. 101.

3. Diakautika für homocentrisches Licht beim Uebergange aus einem einaxigen Mittel in ein isotropes durch eine zur optischen Axe senkrechten Ebene.

In Fig. 14 sey jetzt I das krystallinische, II das isotrope Mittel. Indem wir wie in der vorigen Nummer die Zeit rechnen und auch eine analoge Bezeichnung anwenden, erhalten wir für die kugelige Welle, welche, durch die ellipsoidische Welle  $E$  angeregt, nach der Zeit  $t$  sich um den Punkt  $q$  gebildet hat, die Gleichung:

$$z^2 + (r - h \tan \alpha)^2 = v^2 \left[ t - \frac{q^2}{w} \right]^2,$$

wenn  $w$  die Geschwindigkeit des Strahles  $Ps$  im Mittel I ist. Nun ist aber, wenn wir  $Ps = q$  setzen:

$$qs = \frac{h}{\cos \alpha} - \varrho, \quad \varrho^2 = \frac{\left(\frac{h}{v_1}\right)^2}{\frac{\cos^2 \alpha}{v_1^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{v_2^2}}$$

und

$$w^2 = \frac{1}{\frac{\cos^2 \alpha}{v_1^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{v_2^2}} = \left(\frac{v_1}{h}\right)^2 \varrho^2.$$

Hieraus folgt:

$$\frac{qs}{w} = \frac{h}{v_1} \cdot \frac{\cos \alpha}{\varrho} = \frac{h^2}{v_1 \cos \alpha \varrho} - \frac{h}{v_1}.$$

Die allgemeine Gleichung der gebrochenen Elementarwellen für die außerordentlichen Strahlen ist hiernach:

$$\begin{aligned} z^2 + (r - h \tan \alpha)^2 &= \frac{v^2}{v_1^2} \cdot \frac{h^4}{\varrho^2 \cos^2 \alpha} = v^2 h^2 \left( \frac{\cos^2 \alpha}{v_1^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{v_2^2} \right) \frac{1}{\cos^2 \alpha} \\ &= v^2 h^2 \left( \frac{1}{v_1^2} + \frac{\tan^2 \alpha}{v_2^2} \right). \end{aligned}$$

Ihre Differentiation in Bezug auf den variablen Parameter  $\alpha$  liefert:

$$h \tan \alpha = \frac{r v_2^2}{v_2^2 - v_1^2},$$

woraus sich dann endlich für die Enveloppe  $F$  der Elementarwellen, oder, was dasselbe heißt, für die der einfallenden Welle  $E$  entsprechende gebrochene Welle zur Zeit  $t = -\frac{h}{v_1}$  die Gleichung ableitet:

$$F \equiv z^2 \cdot \frac{v_1^2}{v^2 h^2} + r \cdot \frac{v_1^2}{(v^2 - v_1^2) h^2} - 1 = 0.$$

Mit der Bedingung  $v > v_2$  wird die Wellenfläche für die Zeit  $-\frac{h}{v_1}$  ein verlängertes Rotations-Ellipsoid oder Hyperboloid; die Hauptaxe fällt in das Loth Pp, der Mittelpunkt in den Punkt p. Für andere Zeiten ist die Wellenfläche jener Rotationsfläche stets parallel. Die Diakustika der gebrochenen Strahlen ist die Evolute der Rotationsfläche.

In dem besondern Falle, wo  $v_2 = v$  ist, werden die in das Mittel II eindringenden außerordentlichen Strahlen ho-

mo-

nocentrisch; ihr Durchschnitt liegt auf dem Lothe  $Pp$  in der Entfernung  $\frac{v}{v_1}h$  von der brechenden Ebene.

Die Verhältnisse der ordentlichen Strahlen, welche vom Punkte  $P$  ausgehen, lassen sich leicht nach dem gegen Ende der vorigen Nummer Gesagten beurtheilen.

Was die innere Spiegelung in unserm Falle betrifft, so ist klar, daß von den vier im Allgemeinen zum Vorschein kommenden Strahlencomplexen nur die beiden homocentrischen auftreten. Außerdem fallen noch das ordentliche und außerordentliche Bild des leuchtenden Punktes zusammen.

4. *Diakaustika eines homocentrischen Strahlencomplexes beim Uebergang aus einer zur einzigen optischen Axe senkrechten Krystallplatte in eine zweite ebensolche an der ersten anliegende Platte.*

Wir erhalten in diesem Falle offenbar nur zwei Gruppen gebrochener Strahlen, solche nämlich, welche in beiden Mitteln den ordentlichen, und solche, welche in beiden Mitteln den außerordentlichen Gesetzen gehorchen. Die Verhältnisse der ersten Gruppe sind durch das Vorhergehende bestimmt. Was aber die zweite Gruppe betrifft, so hat man, wenn sich dem Früheren analog  $v_1$  und  $v_2$  auf das erste und  $v'_1$ ,  $v'_2$  auf das zweite Mittel beziehen, die folgende Gleichung für die Elementarwellen der Wellenfläche zur Zeit  $\frac{h}{v_2}$ :

$$\frac{z^2}{v_1'^2} + \frac{(r - h \tan \alpha)^2}{v_2'^2} = h^2 \left( \frac{1}{v_1'^2} + \frac{\tan^2 \alpha}{v_2'^2} \right).$$

Die Gleichung der gebrochenen Wellenfläche ist mithin:

$$F \equiv z^2 \cdot \frac{v_1'^2}{v_1'^2 h^2} + r^2 \cdot \frac{v_1'^2}{(v_2'^2 - v_2^2) h^2} - 1 = 0,$$

und diese stellt wieder, je nachdem die Differenz  $v'_2 - v_2$  positiv oder negativ ist, ein Rotations-Ellipsoid oder Hyperboloid dar, die ähnlich wie die bereits besprochenen analogen Flächen gelegen sind. Das zugehörige Strahlen-

$$qs = \frac{h}{\cos \alpha} - \varrho, \quad \varrho^2 = \frac{\left(\frac{h}{v_1}\right)^2}{\frac{\cos^2 \alpha}{v_1^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{v_2^2}}$$

und

$$w^2 = \frac{1}{\frac{\cos^2 \alpha}{v_1^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{v_2^2}} = \left(\frac{v_1}{h}\right)^2 \varrho^2.$$

Hieraus folgt:

$$\frac{qs}{w} = \frac{h}{v_1} \cdot \frac{\frac{h}{\cos \alpha} - \varrho}{\varrho} = \frac{h^2}{v_1 \cos \alpha \varrho} - \frac{h}{v_1}.$$

Die allgemeine Gleichung der gebrochenen Elementarwellen für die außerordentlichen Strahlen ist hiernach:

$$\begin{aligned} z^2 + (r - h \tan \alpha)^2 &= \frac{v^2}{v_1^2} \cdot \frac{h^4}{\varrho^2 \cos^2 \alpha} = v^2 h^2 \left( \frac{\cos^2 \alpha}{v_1^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{v_2^2} \right) \frac{1}{\cos^2 \alpha} \\ &= v^2 h^2 \left( \frac{1}{v_1^2} + \frac{\tan^2 \alpha}{v_2^2} \right). \end{aligned}$$

Ihre Differentiation in Bezug auf den variablen Parameter  $\alpha$  liefert:

$$h \tan \alpha = \frac{r v_2^3}{v_2^3 - v^2},$$

woraus sich dann endlich für die Enveloppe  $F$  der Elementarwellen, oder, was dasselbe heißt, für die der einfallenden Welle  $E$  entsprechende gebrochene Welle zur Zeit  $t = -\frac{h}{v_1}$  die Gleichung ableitet:

$$F \equiv z^2 \cdot \frac{v_1^2}{v^2 h^2} + r \cdot \frac{v_1^2}{(v^2 - v_2^2) h^2} - 1 = 0.$$

Mit der Bedingung  $v \geq v_2$  wird die Wellenfläche für die Zeit  $-\frac{h}{v_1}$  ein verlängertes Rotations-Ellipsoid oder Hyperboloid; die Hauptaxe fällt in das Loth  $Pp$ , der Mittelpunkt in den Punkt  $p$ . Für andere Zeiten ist die Wellenfläche jener Rotationsfläche stets parallel. Die Diakustika der gebrochenen Strahlen ist die Evolute der Rotationsfläche.

In dem besondern Falle, wo  $v_2 = v$  ist, werden die in das Mittel II eindringenden außerordentlichen Strahlen ho-

mo-

mocentrisch; ihr Durchschnitt liegt auf dem Lothe  $Pp$  in der Entfernung  $\frac{v}{v_1}h$  von der brechenden Ebene.

Die Verhältnisse der ordentlichen Strahlen, welche vom Punkte  $P$  ausgehen, lassen sich leicht nach dem gegen Ende der vorigen Nummer Gesagten beurtheilen.

Was die innere Spiegelung in unserm Falle betrifft, so ist klar, daß von den vier im Allgemeinen zum Vorschein kommenden Strahlencomplexen nur die beiden homocentrischen auftreten. Außerdem fallen noch das ordentliche und außerordentliche Bild des leuchtenden Punktes zusammen.

4. *Diakaustika eines homocentrischen Strahlencomplexes beim Uebergang aus einer zur einzigen optischen Ase senkrechten Krystallplatte in eine zweite ebensolche an der ersten anliegende Platte.*

Wir erhalten in diesem Falle offenbar nur zwei Gruppen gebrochener Strahlen, solche nämlich, welche in beiden Mitteln den ordentlichen, und solche, welche in beiden Mitteln den außerordentlichen Gesetzen gehorchen. Die Verhältnisse der ersten Gruppe sind durch das Vorhergehende bestimmt. Was aber die zweite Gruppe betrifft, so hat man, wenn sich dem Früheren analog  $v_1$  und  $v_2$  auf das erste und  $v'_1$ ,  $v'_2$  auf das zweite Mittel beziehen, die folgende Gleichung für die Elementarwellen der Wellenfläche zur Zeit  $\frac{h}{v_2}$ :

$$\frac{z^2}{v_1'^2} + \frac{(r - h \tan \alpha)^2}{v_2'^2} = h^2 \left( \frac{1}{v_1^2} + \frac{\tan^2 \alpha}{v_2^2} \right).$$

Die Gleichung der gebrochenen Wellenfläche ist mithin:

$$F \equiv z^2 \cdot \frac{v_1'^2}{v_1^2 h^2} + r^2 \cdot \frac{v_1'^2}{(v_2'^2 - v_2^2) h^2} - 1 = 0,$$

und diese stellt wieder, je nachdem die Differenz  $v'_2 - v_2$  positiv oder negativ ist, ein Rotations - Ellipsoid oder Hyperboloid dar, die ähnlich wie die bereits besprochenen analogen Flächen gelegen sind. Das zugehörige Strahlen-

bündel weist im Allgemeinen eine verwickelte Brennfläche auf; nur wenn  $v'_2 = v_2$  wird, d. h. wenn die Hauptbrechungsindices der außerordentlichen Strahlen in beiden Krystallen gleich sind, artet die Brennfläche in einen Punkt aus; dieser liegt auf dem Lothe des leuchtenden Punktes in der Entfernung  $\frac{v'_1}{v_1}h$  von der brechenden Fläche.

Aus den Ergebnissen der 2. und 3. Nummer setzen wir noch den folgenden Satz zusammen: *Lässt man die Strahlen eines leuchtenden Punktes, der sich in einem isotropen Mittel befindet, auf die erste Fläche einer Krystallplatte fallen, die zu ihrer optischen Axe senkrecht geschnitten ist, so divergiren die außerordentlichen Strahlen, welche aus der zweiten Fläche der Platte wieder in das isotrope Mittel zurückkehren, genau aus einem Punkte, wenn für die stattfindende außerordentliche Brechung der Hauptindex der Einheit gleich ist, ein Erforderniß, dem man sich im Experimente für die einzelne Farbe beliebig nähern kann. Das durch die Brechung erzeugte Bild des leuchtenden Punktes liegt auf dem Lothe, welches man von diesem auf die Platte herablassen kann, und zwar auf der Seite des leuchtenden Punktes in einer Entfernung von der zweiten Fläche der Platte, die sich durch  $h + D \cdot w$  ausdrückt, wenn  $w$  der Brechungsquotient der ordentlichen Strahlen,  $D$  die Dicke der Platte und  $h$  die Entfernung des leuchtenden Punktes von der ersten Fläche der Platte bedeutet.*

##### 5. Gränzfläche der totalen Reflexion im Innern einer einaxigen Krystallplatte.

Damit die außerordentliche ebene Welle  $OW$ , Fig. 15 Taf. I, die sich in einem einaxigen Mittel bis zur Gränzfläche  $JJ$  eines isotropen Mittels fortpflanzt, hier eine totale Reflexion erleide, muß der Radius der Elementarwelle, die sich um  $O$  bildet, während die Welle bis  $O'W'$  fortschreitet, die Länge  $OO'$  erreichen oder übertreffen. Wenn aber  $w$  die Geschwindigkeit der Welle nach der Richtung ihrer Normale und  $i$  die Neigung der Welle und der Ebene



$TT$  ist, so verfließt während der Bewegung von  $OW$  bis  $O'W'$  die Zeit  $\frac{OO' \sin i}{w}$ . Und der Radius der kugeligen Welle, die sich unterdessen um  $O$  bildet, ist, wenn  $v$  die Geschwindigkeit des Lichtes im isotropen Mittel bedeutet,  $\frac{OO' \sin i}{w} \cdot v$ . Im Falle der beginnenden Totalreflexion haben wir also:

$$\sin i^2 = \frac{w^2}{v^2}.$$

Es bilde nun die Normale der ebenen Welle mit der optischen Axe den Winkel  $\psi$ ; ferner sey  $o$  die Geschwindigkeit der ordentlichen Wellen und  $e$  die davon am meisten abweichende Geschwindigkeit der außerordentlichen Wellen. Alsdann haben wir:

$$w^2 = o^2 \cos^2 \psi + e^2 \sin^2 \psi,$$

folglich auch:

$$A \dots \sin i^2 = \frac{(o^2 - e^2) \cos^2 \psi + e^2}{v^2}$$

Um diesen Ausdruck umzuformen, bezeichnen wir die Cosinus der Winkel, welche die optische Axe mit rechtwinklichen Coordinataxen, von denen die  $z$ -Axe auf  $TT$  senkrecht steht, bildet, durch  $u$ ,  $v$ ,  $w$ . Alsdann ist, wenn wir noch  $\frac{1}{e^2} = a$  und  $\frac{1}{o^2} - \frac{1}{e^2} = b$  setzen, folgendes die Gleichung der Wellenfläche:

$$f \equiv a(x^2 + y^2 + z^2) + b(ux + vy + wz)^2 - 1 = 0.$$

Ferner hat man, wenn  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$  die Coordinaten desjenigen Punktes sind, in welchem die Wellenfläche von einer mit der Ebene  $OW$  parallelen Tangentialebene berührt wird:

$$\begin{aligned} \cos i^2 &= \frac{\left(\frac{df}{dz}\right)^2}{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2 + \left(\frac{df}{dz}\right)^2}, \\ \cos \psi^2 &= \frac{\left[\frac{df}{dx}u + \frac{df}{dy}v + \frac{df}{dz}w\right]^2}{\left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2 + \left(\frac{df}{dz}\right)^2}. \end{aligned}$$

Durch die Substitution dieser Ausdrücke in die Gleichung A finden wir:

$$v^2 \left[ \left( \frac{df}{dx} \right)^2 + \left( \frac{df}{dy} \right)^2 \right] = (o^2 - e^2) \left[ \frac{df}{dx} u + \frac{df}{dy} v + \frac{df}{dz} w \right]^2 \\ + e^2 \left[ \left( \frac{df}{dx} \right)^2 + \left( \frac{df}{dy} \right)^2 + \left( \frac{df}{dz} \right)^2 \right].$$

Zur Abkürzung setzen wir noch:

$ux + vy + wz \equiv E$ ,  $\frac{v}{o} = \omega$ ,  $\frac{v}{e} = \varepsilon$ , und erhalten so aus der letztgefundenen Gleichung für den Ort des Punktes  $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ , wenn wir immer andere Wellen nehmen, für welche die totale Reflexion beginnt:

$$K \equiv [\omega^2 x + (\varepsilon^2 - \omega^2) u E]^2 + [\omega^2 y + (\varepsilon^2 - \omega^2) v E]^2 \\ - \left( \frac{\varepsilon^4}{\omega^2} - \frac{\omega^4}{\varepsilon^2} \right) E^2 - \frac{\omega^4}{\varepsilon^2} (x^2 + y^2 + z^2) = 0.$$

Wegen ihrer Homogenität stellt diese Gleichung einen Kegel des zweiten Grades dar. Aus dem Gefundenen fließt ohne Weiteres das folgende Theorem:

*Beindet sich im Innern eines einaxigen krystallinischen Mittels, das durch eine Ebene von einem isotropen Mittel getrennt wird, ein leuchtender Punkt, so werden alle von dem letzteren ausgehenden, auf die Begränzungsfläche fallenden außerordentlichen Strahlen partial reflectirt, sobald sie innerhalb eines gewissen Kegels des zweiten Grades gelegen sind, dessen Spitze der leuchtende Punkt ist. Die Gleichung dieses Gränzkegels für die partiale und totale Reflexion ist die Gleichung K, wenn wir ein rechtwinkliches Coordinatensystem zu Grunde legen, dessen Axen durch den leuchtenden Punkt gehen, und dessen z-Axe auf der Begränzungsfläche senkrecht steht. Alle übrigen außerordentlichen Strahlen, welche von dem Punkte aus auf die Trennungsfläche gelangen, erleiden totale Reflexion.*

Für die ordentlichen Strahlen, die der Punkt aussendet, erhalten wir aus dem Obigen die Gränze der totalen und

partialen Reflexion, wenn wir  $\varepsilon = \omega$  setzen. Die Gleichung des Gränzkegels wird dann:

$$\left(1 - \frac{1}{\omega^2}\right)(x^2 + y^2) - \frac{1}{\omega^2}z^2 = 0;$$

sie ist aus der elementaren Dioptrik hinlänglich bekannt.

---

#### IV. Zur Theorie der Farbenmischung; von H. Graßmann, Professor in Stettin.

---

Im 87. Bande dieses Journals theilt Hr. Helmholtz eine Reihe zum Theil neuer und sinnreicher Beobachtungen mit, aus welchen er den Schlufs zieht, dafs die seit Newton allgemein angenommene Theorie der Farbenmischung in den wesentlichsten Punkten irrig sey, und es namentlich nur zwei prismatische Farben gebe, nämlich Gelb und Indigo, welche vermischt Weifs liefern. Daher möchte es nicht überflüssig seyn, zu zeigen, wie die Newton'sche Theorie der Farbenmischung bis zu einem gewissen Punkte hin, und namentlich der Satz, dafs jede Farbe ihre Complementarfarbe hat, welche mit ihr vermischt Weifs liefert, aus unbestreitbaren Thatsachen mit mathematischer Evidenz hervorgeht, so dafs dieser Satz als einer der wohlbegründeten in der Physik angesehen werden mufs. Ich werde dann zeigen, wie die von Helmholtz angestellten *positiven* Beobachtungen, statt gegen diese Theorie zu zeugen, vielmehr dazu dienen können, dieselbe theils zu bestätigen, theils zu ergänzen.

Hierbei wird es nöthig seyn, den Farbeindruck, dessen das Auge fähig ist, in seine Momente zu zerlegen. Zunächst unterscheidet das Auge farbloses und farbiges Licht. An dem farblosen Lichte (Weifs, Grau) unterscheidet es nur die gröfsere oder geringere *Intensität*, und diese läfst sich mathematisch bestimmen. Ebenso unterscheiden

wir an einer homogenen Farbe nur ihre grössere oder geringere Intensität. Aber auch für die Verschiedenheit der einzelnen homogenen Farben haben wir ein mathematisch bestimmbares Maass, welches uns am vollkommensten in der jeder Farbe entsprechenden Schwingungsdauer geboten wird; schon die populäre Sprache hat diese Differenz auf eine sehr passende Weise durch den Ausdruck *Farbenton* bezeichnet. Wir werden also an einer homogenen Farbe zweierlei: ihren Farbenton und ihre Intensität unterscheiden können. Vermischt man nun eine homogene Farbe mit farblosem Lichte, so wird der Farbeindruck durch diese Beimischung abgeschwächt. Die populäre Sprache ist reich an Bezeichnungen, welche diese Differenz bezeichnen sollen; die Bestimmungen: gesättigt, tief, blafs, fahl, matt, weiflich, welche man den Farbensamen hinzufügt, sollen dies Verhältniss darstellen. Die wissenschaftliche Bezeichnung, welche dieser populären Nomenklatur substituiert werden muss, ergibt sich aus dem Obigen von selbst, indem jeder Farbeindruck der genannten Art sich in drei mathematisch bestimmbare Momente zerlegt: den *Farbenton*, die *Intensität der Farbe*, und die *Intensität des beigemischten Weifs*. Die verschiedenen Farbentöne bilden eine stetige Reihe von der Art, dass sich, wenn man von einer Farbe dieser Reihe aus in ihr stetig fortschreitet, zuletzt die ursprüngliche Farbe wiederholt. Hierbei darf jedoch ein Umstand nicht unerwähnt gelassen werden, nämlich die Schwierigkeit, sich homogenes rothes Licht zu verschaffen, welches den Uebergang zwischen dem Violett und Roth des gewöhnlichen Sonnenspectrums vermittelt, und welches man durch das Prisma nur unter besonders günstigen Umständen (an heiteren Sommermittagen) hervorbringen kann (s. Pogg. Ann. Bd. 13 S. 441). Ich werde diese äusserste Farbe des Spectrums, welche ebenso wohl als äusserstes Roth, wie als äusserstes Violett aufgefasst werden kann, Purpur nennen. Betrachten wir nun endlich ein beliebig zusammengesetztes Licht, so kann das Auge an ihm gleichfalls nur die angeführten drei Momente unter-

scheiden, d. h. es läßt sich jeder Lichteindruck nachahmen, indem man eine homogene Farbe von bestimmter Intensität mit farblosem Lichte von bestimmter Intensität vermischt. Hiernach haben wir also bei jedem Lichteindruck Dreierlei zu unterscheiden: die Intensität der Farbe, den Farbenton, die Intensität des beigemischten farblosen Lichtes. Es würde sich leicht ein Apparat anfertigen lassen, vermittelst dessen man im Stande wäre, jede Farbe nach diesen drei Momenten zu bestimmen. Um hiervon eine Idee zu geben, denke man sich zwei weiße Tafeln von gleicher Beschaffenheit um ein Charnier beweglich, und zwar so, daß die weiße Seite der Tafeln auf der Außenseite des von den Tafeln gebildeten Winkels sich befinde, und zugleich sey ein getheilter Kreis vorhanden, um diesen Winkel zu messen. Nun lasse man in einer auf der Drehungsaxe senkrechten Ebene auf die eine dieser Tafeln das zu prüfende farbige Licht fallen; auf die andere Tafel falle in einer beliebigen Richtung jener Ebene weißes Licht und in einer dagegen senkrechten Richtung derselben Ebene homogenes Licht auf, und zwar sey das letztere so gewählt, daß es denselben Farbenton habe, wie das zu prüfende Licht. Indem man nun diese letztere Tafel um das Charnier dreht, wird man dem farblosen und dem homogenen Lichte, welches von dieser Tafel nach allen Seiten hin zerstreut wird, jedes beliebige Intensitätsverhältniß geben können. Indem man darauf die erstere Tafel gleichfalls dreht, wird man dem von ihr zerstreuten Lichte jeden Grad der Intensität geben können, welcher geringer ist als die Intensität bei senkrecht auffallendem Lichte. Auf diese Weise wird man, wenn man nur die auf die zweite Tafel fallenden Vergleichungslichter hinreichend schwach genommen hat, nothwendig eine Stellung der Tafeln finden, bei welcher beide auf ein sie zugleich sehendes Auge gleichen Lichteindruck machen. Es würde also ein solcher Apparat ausreichen, um alle in Betracht kommenden Momente mathematisch zu bestimmen. Nun könnte freilich der obige Satz, daß das Auge direct nur diese drei Momente zu unterscheiden vermöge, in Zweifel gezogen werden. Und aller-

dings möchte ein directer Beweis schwer zu führen seyn, da noch immer die Möglichkeit bleibt, daß ein Auge vermöge seiner besondern Organisation vielleicht Unterschiede entdecken möchte, die ein anderes nicht zu entdecken vermag. Jedoch genügt für unsern Zweck die Thatsache vollkommen, daß bisher kein Beobachter ein anderes Moment, was den Farbeneindruck bestimmte, anzugeben vermochte, und auch die Sprache in der Beschreibung der Farbeneindrücke nur diese drei Momente kennt, so daß wir also mit Bestimmtheit behaupten können, es seyen bisher nur diese drei Momente des Farbeneindrucks beobachtet worden; und nur auf diese Behauptung werden wir bei dem unten zu erwähnenden Beweise zurückgehen.

Das zweite, was wir voraussetzen, ist: »daß, wenn man von den beiden zu vermischenden Lichtern das eine stetig ändert (während das andere unverändert bleibt), auch der Eindruck der Mischung sich stetig ändert.«

Wir sagen nämlich, ein Lichteindruck ändere sich stetig, wenn die beiden Intensitäten (die Intensität der Farbe und die des beigemischten farblosen Lichtes) sich stetig ändern und auch der Farbenton, vorausgesetzt, daß die Intensität der Farbe nicht Null ist, sich stetig ändere. Ist nämlich die Intensität der Farbe Null, so ist das Licht eben ein farbloses; und es kann daher ein Farbenton dadurch, daß die Intensität der Farbe stetig bis Null hin abnimmt, in jeden andern, von ihm gänzlich getrennt liegenden Farbenton stetig übergehen, wenn nämlich die Intensität des letzteren wiederum von Null ab stetig wächst. Es bedarf wohl kaum der Erwähnung, daß der Fall, wo eins oder mehrere der der Eindruck bestimmenden Momente sich gleich bleiben, mit unter den Begriff der Stetigkeit gefaßt werden muß, wie dies ja überall üblich ist. Was nun die stetige Aenderung des Farbentones betrifft, so wird dieselbe im Allgemeinen durch die stetige Aenderung der diesen Farbenton bestimmenden Schwingungsdauer dargestellt werden, jedoch mit dem Unterschiede, daß der Farbeneindruck des äußersten Violett sich wieder an den des äußersten Roth

stetig anschliesst. In der That ist der Uebergang von Violett durch Purpur zum Roth für das Auge ein ebenso stetiger, wie zwischen irgend welchen zwei anderen Farben, wenngleich durch Beobachtungen noch keinesweges die Gränze mit Sicherheit festgestellt ist, an welcher derselbe Farbeindruck bei verschiedener Schwingungsdauer wiederkehrt. Ich werde den Uebergang vom Roth zum Orange, Gelb, Grün, Blau, Violett, Purpur zurück zum Roth den *positiven* Uebergang, den umgekehrten den *negativen* nennen. Hiernach kann also jedes gefärbte Licht *A* in ein anders gefärbtes Licht *B* auf drei verschiedene Arten stetig übergehen, nämlich entweder so, dass der Farbenton des Lichtes nach und nach alle Farbentöne annimmt, die auf dem positiven Uebergange von *A* zu *B* liegen, oder alle die auf dem negativen Uebergange liegen, oder endlich, dass das Licht beim Uebergange einmal oder mehrere Male farblos wird. Der Satz des stetigen Ueberganges, den wir so eben entwickelt haben, muss als ein durch die Erfahrung vollkommen begründeter angesehen werden, da ein unvermittelter Sprung in den Erscheinungen sich auch bei den rohesten Beobachtungen kenntlich machen muss, und ein solcher Sprung bisher von Niemand beobachtet worden ist.

Aus diesen Voraussetzungen nun lässt sich der folgende Satz mit mathematischer Evidenz ableiten:

„Es giebt zu jeder Farbe eine andere homogene Farbe, welche, mit ihr vermischt, farbloses Licht liefert.“

*Beweis.* Es sey *a* der Farbenton der gegebenen Farbe. Angenommen nun, es gebe keine homogene Farbe, die mit ihr vermischt farbloses Licht liefere, so sey eine beliebige homogene Farbe angenommen, deren Farbenton *x* und deren Intensität *y* sey. Lässt man nun zuerst, während *x* constant bleibt, *y* stetig von Null ab wachsen, bis die Intensität der Farbe *a* gegen sie verschwindet, so wird die Mischung sich stetig ändern, und da sie nach der Annahme nie farbloses Licht geben soll, wird auch ihr Farbenton sich stetig ändern, also, da die Mischung anfangs den Farbenton

$a$ , zuletzt den Farbenton  $x$  hat, stetig von  $a$  nach  $x$  hin übergehen. Dieser Uebergang kann ein positiver oder negativer seyn. Ob das eine oder der andere der Fall sey wird von dem Farbenton  $x$  abhängen. Nimmt man den Farbenton  $x$  von  $a$  unendlich wenig verschieden an, aber nach der positiven Uebergangsseite hin, so wird jener Uebergang gleichfalls positiv seyn. Denn gesetzt er wäre negativ, so müßten bei der Steigerung der Intensität  $y$  alle Farbtöne außer den von  $a$  unendlich wenig verschiedenen hervortreten, also Farbtöne, welche von  $a$  ganz verschieden sind; es sey  $y$  eine solche Intensität, bei welcher ein von  $a$  ganz verschiedener Farbenton hervortrete. Nun ist klar, daß die Farbe, deren Farbenton  $a$  und deren Intensität  $y$  ist, mit  $a$  vermischt, den Farbenton  $a$  giebt, während die Farbe, deren Farbenton  $x$  und deren Intensität  $y$  ist, einen ganz verschiedenen Farbenton liefert; aber diese beiden mit  $a$  vermischten Farben haben bei gleicher Intensität  $y$  zwei unendlich nahe aneinandergränzende Farbtöne, d. h. jene beiden mit  $a$  vermischten Farben gehen stetig in einander über, also muß auch (nach dem zweiten Satze) die Mischung stetig sich ändern, also auch ihr Farbenton; dieser sollte aber ein ganz verschiedener seyn. Also führt die Annahme, daß der Uebergang von  $a$  nach  $x$  ein negativer seyn soll, zu Widersprüchen, d. h. er ist nothwendig ein positiver. Aus demselben Grunde wird, wenn  $x$  von  $a$  aus nach der negativen Seite hin unendlich wenig entfernt liegt, ein negativer Uebergang von  $a$  nach  $x$  stattfinden. Läßt man nun den Farbenton  $x$  von  $a$  aus nach positiver Seite hin stetig sich ändern, so daß er die ganze Farbenreihe bis nach  $a$  hin zurück durchläuft, so muß der zugehörige Uebergang der Mischung, welcher jedesmal durch die Steigerung des  $y$  bewirkt wird, nothwendig, da er zuerst positiv, zuletzt negativ ist, irgend wo sein Zeichen ändern. Es sey  $a'$  ein Farbenton, bei dem diese Aenderung eintritt, so daß also jener Uebergang, ehe  $x$  diesen Farbenton erreicht, positiv ist, sobald es ihn überstiegen hat, negativ ist. Wenn nun der Farbenton



$x$  durch diesen Farbenton  $a'$  stetig hindurchgeht, so muß bei jedem Werth der Intensität  $y$  der Farbenton der Mischung sich stetig ändern, also die sämtlichen Farbentöne, welche durch Steigerung der Intensität  $y$  entstehen, in beiden Fällen (wenn  $x$  unendlich nahe neben  $a'$  einmal zur Rechten und einmal zur Linken liegt), unendlich nahe aneinander liegen. Diefs ist aber unmöglich, da die einen auf dem positiven, die anderen auf dem negativen Uebergange von  $a$  zu  $a'$  liegen. Also führt die Annahme, daß es zu  $a$  keine homogene Farbe gebe, die mit ihr vermischt Weiß liefere, zu einem Widerspruche, d. h. zu jeder Farbe giebt es eine homogene Farbe, die mit ihr vermischt Weiß liefert. *q. d. e.*

Die indirecte Form des Beweises habe ich gewählt, weil in ihr sich am leichtesten ohne Umschweife die möglichste Strenge erreichen läßt. Uebrigens leuchtet ein, daß in dieser indirecten Beweisform zugleich die directe Behauptung liegt, daß die Farbe  $a'$ , bei welcher die Art des Ueberganges sich ändert, diejenige sey, welche in irgend einem Intensitätsverhältniß mit  $a$  vermischt farbloses Licht geben muß.

Prüfen wir nun die Helmholtz'schen Versuche, so ergibt sich aus ihnen, wenigstens annähernd, diejenige Farbe, welche mit einer gegebenen farbloses Licht zu liefern vermag. Für Gelb ist diels nach Helmholtz Indigo, ein Resultat, was von der Newton'schen Theorie der Farbenmischung keinesweges so abweichend ist, wie es für den ersten Augenblick scheint. Helmholtz hat die beiden Farben, welche nach ihm Weiß geben, genauer bestimmt; indem das Gelb zwischen den Fraunhofer'schen Linien  $D$  und  $E$  liegt, und zwar etwa 3mal so weit von  $E$  entfernt als von  $D$ , das Indigo hingegen von der Mitte zwischen den Linien  $J$  und  $G$  bis gegen  $G$  hin liegt, nämlich so daß jedes Indigo, welches zwischen den genannten Gränzen liegt, mit irgend einem Gelb, was in der Nähe der bezeichneten Stelle liegt, Weiß liefert. Der Vergleich mit der Newton'schen Regel der Farbenmischung wird dadurch erschwert, daß die Farbenamen bei den verschiedenen Beobachtern nicht denselben Inhalt haben, wie man sich

davon sehr leicht überzeugt, wenn man die Beschreibung der Farben, welche zwischen den verschiedenen Fraunhofer'schen Linien liegen sollen, in den verschiedenen Lehrbüchern und Abhandlungen vergleicht. Newton beschreibt die Lage der Gränzen zwischen je zweien seiner Farben, wie sie sich in dem Spectrum seines Glases zeigten, genau; er bestimmt auch das mittlere Brechungsverhältniß und das Zerstreuungsverhältniß dieses Glases, so daß alle Elemente vorliegen, um die Lage der Newton'schen Farbengränzen zwischen den Fraunhofer'schen Linien so genau zu bestimmen, als eben jene Newton'schen Bestimmungen selbst reichen. Nach diesem Princip habe ich durch Vergleichung der Fraunhofer'schen und Newton'schen Messungen, indem ich annahm, daß Newton's Anfangsroth und sein End-Violett mit den Fraunhofer'schen Linien *B* und *H* zusammenfallen, gefunden, daß Newton's Anfangs-Orange (d. h. die Gränze zwischen Roth und Orange) zwischen den Linien *C* und *D*, von *C* und *D* im Verhältniß von 7:6 entfernt liegt, sein Anfangs-Gelb liegt bei *D* (um  $\frac{1}{11}$  des Intervalles *DE* von *D* aus nach *E* hin entfernt), sein Anfangs-Grün liegt bei *E* (von *E* um  $\frac{1}{11}$  *ED* nach *D* zu entfernt), sein Anfangs-Blau bei *F* (von *F* um  $\frac{1}{14}$  *FG* nach *G* zu entfernt) sein Anfangs-Indigo zwischen *F* und *G*, im Verhältniß 5:3 von *F* und *G* entfernt, sein Anfangs-Violett in *G*. Es hat zwar die Annahme, daß die Gränzen des Newton'schen Spectrums mit den Linien *B* und *H* zusammenfallen, etwas willkürliches; doch gelangt man auch zu demselben Resultat, wenn man davon ausgeht, daß die Farben, welche die mittlere Brechbarkeit haben, bei Fraunhofer und Newton zusammenfallen. Construiert man nun den Newton'schen Farbenkreis nach der in seiner Optik (*Lib. I. pars II, prop. VI*) angegebenen Regel, und trägt in ihn die Lagen der Fraunhofer'schen Linien, wie sie oben angegeben wurden, hinein (s. Fig. 16 Taf. I.), so ergibt sich, daß das von Helmholtz bestimmte Gelb nach der Newton'schen Regel Weiß giebt mit einem Indigo, welches zwischen den Fraunhofer'schen Linien *F* und *G* liegt,

und welches von *F* und *G* in dem Verhältniß von 15:2 absteht. In der Figur sind diese Farben durch die punktirte Linie, welche sie verbindet, angedeutet. Es fällt also dieß Indigo noch innerhalb der Farbengränzen, zwischen denen die Complementarfarben des Gelb nach Helmholtz liegen. Man sieht also, daß die angeführte Beobachtung von Helmholtz mit dem Resultat der Newton'schen Versuche im Wesentlichen übereinstimmt. Für die übrigen Farben leugnet nun allerdings Hr. Helmholtz die Möglichkeit, aus ihnen durch Vermischung zweier Farben Weiß zu erhalten. Aber prüfen wir irgend eine seiner Versuchserfolgen, z. B. die über die Mischung des Roth mit den übrigen Farben, so ergiebt sich daraus jedesmal die Complementarfarbe leicht. Nach ihm giebt nämlich Roth mit Orange, Gelb, Grün die mittleren Farbtöne, welche in dieser Reihe, also nach unserer Bezeichnung vom Roth aus nach der positiven Seite liegen. So z. B. giebt nach ihm Roth mit Grün vermischt ein *fahles* Gelb, welches bei vorwaltendem Roth durch Orange in Roth, bei vorwaltendem Grün durch Gelbgrün in Grün übergeht. Ebenso giebt Roth mit Violett, Indigblau, Himmelblau die in dieser Reihe dazwischen liegenden Farbtöne, welche also nach unserer Bezeichnung vom Roth aus nach der negativen Seite liegen. Namentlich giebt nach ihm Roth mit Himmelblau vermischt ein *weißliches* Violett, welches bei überwiegendem Roth in Rosaroth und Carminroth übergeht. Es muß also nach dem oben erwiesenen Satze die Complementarfarbe des Roth zwischen Grün und Himmelblau liegen, also irgend ein Farbtönen des Blaugrünen seyn. Nun sagt zwar Helmholtz, daß bei der Mischung des Roth mit den grünblauen Tönen eine fleischfarbene Mischung hervorgeht; allein, wie diese Fleischfarbe bei überwiegendem Blaugrün in dieses übergeht, wie es doch der Fall seyn muß, wird nicht gesagt. Es bleibt hier also eine Lücke. Ueberdies ist Fleischfarbe nichts anderes, als ein mit vielem Weiß gemischtes Roth, und es ist kein anderer Uebergang desselben in das Blaugrüne denkbar, als der daß sich das Roth immer mehr ab-

schwächt, bis es unter dem beigemischten Weifs verschwindet, und dann aus diesem Weifs (oder Grau) nach und nach das Blaugrün hervortritt; kurz, es findet hier der normale Uebergang durch farbloses Licht hindurch statt. Dasselbe gilt für die übrigen Versuchsreihen. Die aus ihnen abgeleitete Tafel der Complementarfarben würde folgende seyn:

Gelb, Gelbgrün, Grün, Grünblau, Himmelblau, Indigo, Indigo, Violett, Purpur, Roth, Orange, Gelb, wo die zusammengehörigen Complementarfarben untereinander stehen.

Ich habe bisher versucht, mit möglichst wenigen Voraussetzungen auszureichen. Ich werde jetzt, um den Hauptsatz der Farbenmischung abzuleiten, noch zu den bisherigen beiden Voraussetzungen eine dritte hinzufügen, nämlich die:

»dafs zwei Farben, deren jede constanten Farbenton, constante Farbenintensität und constante Intensität des beigemischten Weifs hat, auch constante Farbenmischung geben, gleich viel aus welchen homogenen Farben jene zusammengesetzt seyen.«

Auch diese Voraussetzung scheint durch die bisherigen Beobachtungen hinreichend gerechtfertigt zu seyn. Denn dafs die farbigen Pulver vermischt andere Resultate geben, als wenn man, statt sie selbst zu vermischen, das von ihnen ausgehende Licht vermischt, kann keinen Einwand abgeben, zumal da der Grund dieser Abweichung durch Helmholtz aufgedeckt ist.

Es sey nun  $a$  eine homogene Farbe, und  $a'$  diejenige homogene Farbe, welche mit  $a$  gemischt Weifs giebt. Der Anschaulichkeit wegen denke man sich  $a$  und  $a'$  dargestellt durch 2 gleich lange aber entgegengesetzt gerichtete Strecken (Fig. 17, Taf. I.), die von Einem Punkte ausgehen. Es sey ferner  $b$  eine Farbe, welche mit  $a$  gemischt eben so viel Weifs liefert, wie mit  $a'$  gemischt; und um diese gleiche Beziehung von  $b$  zu  $a$  und zu  $a'$  auszudrücken, sey  $b$  durch eine gegen  $a$  und  $a'$  senkrechte Strecke dargestellt. Fer-

ner sey die Intensität der Farbe  $b$  so gewählt, dafs, wenn  $b'$  die Farbe ist, die mit  $b$  Weifs giebt, die Intensität des durch diese Mischung entstandenen Lichtes gleich der Intensität des durch die Mischung von  $a$  und  $a'$  entstandenen Lichtes sey. Diefs sey bildlich dadurch dargestellt, dafs man die Strecke, welche die Farbe  $b$  ausdrückt, gleich lang macht mit  $a$  und  $a'$ , während die Complementarfarbe von  $b$ , durch die mit  $b$  gleich lange aber entgegengesetzt gerichtete Strecke  $b'$  dargestellt sey. Wir wollen annehmen, dafs von den beiden Farben  $b$  und  $b'$  die Farbe  $b$  diejenige sey, welche von  $a$  aus nach der positiven Uebergangsseite liegt. Es leuchtet ein, dafs wenn die Farbe  $a$  gegeben ist, dann  $a'$ ,  $b$ ,  $b'$  durch Beobachtung zu finden sind. Ist z. B.  $a$  Gelb, so ist  $a'$  Indigo; auf dem positiven Uebergange von  $a$  zu  $a'$  liegen die verschiedenen Töne des Grünen und Blauen; das Grüngelb wird mit Gelb ( $a$ ) vermischt eine sehr geringe, mit Indigo ( $a'$ ) vermischt eine sehr bedeutende Beimischung des Weifs geben. Schreitet man vom Grüngelb nach der positiven Seite zu fort, so wird bei der Vermischung mit Gelb die Beimischung des Weifs nach und nach zunehmen, bei der Vermischung mit Indigo abnehmen. Es wird also auf dem Uebergange ein Farbenton liegen, welcher mit dem Gelb vermischt, ebenso viel Weifs liefert, wie mit Indigo vermischt. Es sey diefs etwa Grün, so wird  $b$  Grün und  $b'$  Purpur seyn. Es leuchtet nun ein, dafs man durch Vermischung von je zweien dieser vier Farben alle Farbentöne erhalten mufs. Es seyen diese Farbentöne für alle Intensitätsverhältnisse der zu mischenden homogenen Farben  $a$  und  $b$ ,  $b$  und  $a'$ ,  $a'$  und  $b'$ ,  $b'$  und  $a$  durch Beobachtungen gefunden. Wir nehmen an, es seyen die Intensitäten der beiden zu mischenden Farben durch die Längen der zugehörigen Strecken dargestellt, so dafs, wenn die eine Farbe z. B. den Farbenton  $a$  hat, und die Intensität derselben sich zu der von  $a$  wie  $m$  zu 1 verhält, dann jene Farbe durch eine Strecke dargestellt sey, welche mit  $a$  gleiche Richtung, aber die  $m$ -fache Länge hat. Nachdem man so die beiden zu mischenden Farben

geometrisch dargestellt hat, construiren man aus diesen Strecken die *geometrische Summe*, d. h. die Diagonale des Parallelogramms, welches die beiden Strecken zu Seiten hat<sup>1)</sup>, und setze fest, dass diese Summe oder Diagonale die Farbe der Mischung darstellen soll, nämlich ihre Richtung den Farbenton und ihre Länge die Intensität der Farbe.

Ist dies geschehen, so kann man von jetzt an den Farbenton, und die Farbenintensität jeder Mischung von Farben durch bloße Construction finden. Nämlich man braucht nur die Strecken, welche den Farbenton und die Farbenintensität der zu mischenden Farben darstellen, zu bestimmen, und diese dann geometrisch zu addiren, d. h. wie Kräfte zusammzusetzen, so stellt die geometrische Summe (die Resultante jener Kräfte) den Farbenton und die Farbenintensität der Mischung dar. Es folgt dies unmittelbar daraus, dass die Ordnung, in welcher man geometrisch addirt (die Kräfte zusammensetzt), gleichgültig ist für das Resultat. In der That es seyen die durch die Strecken  $a$ ,  $b$ ,  $a'$ ,  $b'$  gemäß der obigen Bestimmung dargestellten Farben zu Grunde gelegt, und sey unter  $\alpha a$ , wenn  $\alpha$  positiv ist, eine Farbe verstanden, die den Farbenton  $a$  hat, und deren Farbenintensität sich zu der von  $a$  verhält wie  $\alpha$  zu 1, und wenn  $\alpha$  negativ ist, sey unter  $\alpha a$  eine Farbe verstanden, die den Farbenton der Complementarfarbe  $a'$  besitzt, und deren Farbenintensität sich zu der von  $a'$  wiederum wie  $\alpha$  zu 1 verhalte. Dasselbe gelte in Bezug auf die zweite zu Grunde gelegte Farbe  $b$  und deren Complementarfarbe  $b'$ . Von den beiden Farben  $c$  und  $c_1$ , deren Mischungsfarbe man sucht, sey die eine darstellbar durch die Mischung der Farben  $\alpha a$  und  $\beta b$ , die andere durch die Mischung der Farben  $\alpha_1 a$  und  $\beta_1 b_1$ , so ist (immer abgesehen vom beigemischten Weis) die Mischung von  $c$  und  $c_1$  darstellbar durch die Vermischung der vier Farben  $\alpha a$ ,  $\beta b$ ,  $\alpha_1 a$ ,  $\beta_1 b_1$ .

1) Der Begriff dieser geometrischen Summe ist von mir in meiner Ausdehnungslehre (Leipzig 1844) und von Möbius in seiner Mechanik des Himmels (Leipzig 1843) zuerst entwickelt.

$\alpha, a, \beta, b$ . Aber  $\alpha a$  giebt mit  $\alpha_1 a$  vermischt  $(\alpha + \alpha_1) a$  und  $\beta b$  mit  $\beta_1 b$  vermischt  $(\beta + \beta_1) b$ . Also ist die Mischung von  $c$  und  $c_1$  auch darstellbar durch die Mischung der beiden Farben  $(\alpha + \alpha_1) a$  und  $(\beta + \beta_1) b$ . Da diese letzteren aber die zu Grunde gelegten Farbentöne  $a, b$  oder  $a', b'$  haben, so wird ihre Mischung dargestellt durch die geometrische Summe der Strecken, also durch die Strecke  $(\alpha + \alpha_1)a + (\beta + \beta_1)b$  d. h. durch  $(\alpha a + \beta b) + (\alpha_1 a + \beta_1 b)$  d. h. durch die geometrische Summe zweier Strecken, welche einzeln genommen die zu vermischenden Farben darstellen.

Wir können dies Gesetz, welches aus den drei zu Grunde gelegten Voraussetzungen mit Nothwendigkeit folgt, und welches zur Bestimmung der Farbenreihe nur eine einfache, aber vollständige Beobachtungsreihe erfordert, auch noch in anderer Weise ausdrücken. Nämlich wenn man um den Anfangspunkt der Strecken mit dem Radius  $a$  einen Kreis schlägt, und statt jeder Strecke den Punkt setzt, in welchem sie die Peripherie trifft, versehen mit einem Gewicht, welches der Länge jener Strecke proportional ist, so kann man die Mischfarbe aus 2 gegebenen Farben auf folgende Weise finden: Man stellt jede der zu mischenden Farben durch einen solchen schweren Punkt der Peripherie dar, so nämlich, daß der zugehörige Radius den Farbenton anzeigt, und das zugehörige Gewicht die Farbenintensität ausdrückt, und bestimmt den Schwerpunkt. Dann zeigt die Strecke, welche vom Mittelpunkte nach diesem Schwerpunkt gezogen ist, den Farbenton an, und, nachdem sie mit der Summe der Gewichte multiplicirt ist, auch die Farbenintensität. Die Identität dieser Bestimmung mit der früheren ergibt sich leicht aus folgender, in meiner Ausdehnungslehre erwiesenen Construction des Schwerpunktes: Den Schwerpunkt der Punkte  $A, B, C, \dots$ , welche beziehlich mit den Gewichten  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  versehen sind, findet man, indem man von einem beliebigen Punkte  $O$  die Strecken  $OA, OB, OC, \dots$  zieht, diese beziehlich mit  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  multiplicirt d. h. ihre Länge, ohne ihre Richtung zu ändern, im Verhältniß  $1 : \alpha, 1 : \beta, 1 : \gamma, \dots$  ändert, aus den so ge-



wonnenen Strecken die geometrische Summe bildet, und diese durch  $\alpha + \beta + \gamma + \dots$  dividirt, so ist der Endpunkt der so gewonnenen Strecke der gesuchte Schwerpunkt.

Was endlich die Beimischung des farblosen Lichtes betrifft, so ist dazu noch eine Voraussetzung erforderlich. Am einfachsten ist es, anzunehmen:

»dafs die gesammte Lichtintensität der Mischung die

Summe sey aus den Intensitäten der gemischten Lichter.«

Hierbei verstehe ich unter der gesammten Lichtintensität die Summe aus der Intensität der Farbe, wie ich sie oben festgestellt habe, und aus der Intensität des beigemischten Weifs, und die Intensität des Weifs, wie auch jeder einzelnen Farbe, setze ich dabei nicht dem Quadrat der Vibrationsintensität, sondern dieser selbst proportional, so dafs also bei der Vermischung zweier weissen oder gleichfarbigen Lichter die Intensität der Mischung die Summe wird aus den Intensitäten der vermischten Lichter. Es ist diese vierte Voraussetzung nicht als eine so wohl begründete zu betrachten, wie die früheren, obwohl sie sich aus theoretischen Betrachtungen durchaus als die wahrscheinlichste ergibt. Um die Folgerungen aus dieser Hypothese zu ziehen, wollen wir die Intensität der durch die Strecke  $a$  dargestellten Farbe gleich 1 setzen, und annehmen, dafs die verschiedenen homogenen Farben, deren Intensität 1 ist, durch Punkte der Peripherie dargestellt werden, so dafs das Gewicht dieser Punkte dem Obigen gemäß gleichfalls gleich 1 gesetzt werden mufs. Nun seyen (Fig. 18)  $A$  und  $B$  zwei Punkte der Peripherie, welche also homogene Farben von der Intensität 1 darstellen. Es mögen nun die Farben  $\alpha A$  und  $\beta B$  vermischt werden, d. h. zwei homogene Farben deren Intensitäten  $\alpha$  und  $\beta$  sind, und deren Farbentöne  $A$  und  $B$  sind, so ist die Summe der Intensitäten  $\alpha + \beta$ . Um nun die Farbe der Mischung zu bestimmen, haben wir nach dem Obigen den Schwerpunkt der mit den Gewichten  $\alpha$  und  $\beta$  versehenen Punkte  $A$  und  $B$  zu suchen. Es sey derselbe  $C$ , der Mittelpunkt des Kreises sey  $O$ , so ist, wenn der Radius des Kreises 1 gesetzt ist, nach dem Obigen die



Farbenintensität gleich  $(\alpha + \beta) OC$ . Es sey der Punkt worin  $OC$  verlängert die Peripherie trifft,  $D$ , so ist die Gesamtintensität  $\alpha + \beta$ , oder, da der Radius 1 gesetzt ist,  $(\alpha + \beta) OD$ . Diese Gesamtintensität soll nach der gemachten Voraussetzung gleich der Intensität der Farbe *plus* der Intensität des beigemischten Weifs seyn, also ist letztere gleich  $(\alpha + \beta) OD - (\alpha + \beta) OC$  d. h.  $= (\alpha + \beta) CD$ . Also ist die Intensität des beigemischten Weifs gleich der mit der Summe der Gewichte multiplicirten Entfernung des Schwerpunktes von der Peripherie. Hieraus folgt dann weiter, daß wenn man stets die gesammte Masse im Schwerpunkt vereinigt denkt, in welchem Falle man den mit einem solchen Gewicht versehenen Schwerpunkt die *geometrische Summe* der einzelnen mit ihren Gewichten behafteten Punkte nennt<sup>1)</sup>, dann jeder Lichteindruck nach seinen drei Momenten genau durch einen mit einem gewissen Gewichte behafteten Punkt dargestellt wird. Die Richtung, in welcher dieser Punkt vom Centrum aus liegt, oder auch der Punkt, worin diese Richtung die Peripherie trifft, stellt den Farbenton dar, das Gewicht des Punktes die gesammte Lichtintensität; die mit diesem Gewichte multiplicirte Entfernung vom Centrum stellt die Intensität der Farbe dar, und die mit dem Gewichte multiplicirte Entfernung von der Peripherie die Intensität des beigemischten Weifs. Wenn wir unter Farbensättigung eines Lichtes die Intensität seiner Farbe, dividirt durch die ganze Lichtintensität, verstehen, so wird die Farbensättigung durch die einfache Entfernung des Punktes vom Centrum dargestellt. Hat man dann auf diese Weise zwei oder mehre zu mischende Farben dargestellt, so wird die Mischung vollständig durch die geometrische Summe der die einzelnen Farben darstellenden schweren Punkte dargestellt. Man sieht, daß dies hier auf rein mathematischem Wege aus vier hinreichend begründeten Voraussetzungen abgeleitete Gesetz in seinen wesentlichen Zügen mit Newton's empirischer Regel, wie er sie am angeführten Orte aufstellt, übereinstimmt. Doch

1) S. Meine Ausdehnungslehre und Möbius barycentrischen Calcul.

bedarf die Art, wie Newton die homogenen Farben auf dem Umfange seines Kreises vertheilt, einer durchgängigen Revision, zu welcher durch die Versuche des Hrn. Helmholtz nur erst die ersten Anfänge gemacht sind. Erst wenn hierüber ein hinreichendes Licht verbreitet ist, kann man sich an die Beantwortung der interessanten Frage heranwagen, nach welchem Gesetze die den verschiedenen Farben zugehörigen Aetherschwingungen sich in den Nerven oder im Sensorium zu einfachen Farbeneindrücken zusammensetzen, eine Frage, von deren Beantwortung wesentlich die Idee der verschiedenen Farben und des farblosen Lichtes abhängt.

Stettin d. 19. Febr. 1853.

---

V. *Ueber die Diathermansie des Steinsalzes.*  
*Schreiben an Hrn. A. von Humboldt von Hrn.*  
*M. Melloni.*

---

Portici, bei Neapel, 21. März 1853.

Zwei geschickte Experimentatoren haben neulich veröffentlicht, daß das Steinsalz weniger durchgänglich sey für strahlende Wärme aus Quellen von niedriger Temperatur, als für die aus Quellen von höherer Temperatur. Ich zweifle nicht, daß diese Herren die Wärme, welche die Wand eines mit siedendem Wasser gefüllten Gefäßes ausstrahlt, nach dem Durchgang durch eine recht reine und wohl polirte Steinsalzplatte, weniger reichlich fanden als die, welche dieselbe Platte durchläßt, wenn die Wärmestrahlung von Flammen oder glühenden Körpern ausgegangen ist. Nur darf man daraus nicht schließen: »daß das Steinsalz nicht alle Arten Wärme gleich gut durchlasse«<sup>1)</sup>.

Um meine Meinung deutlich auszudrücken, und zugleich um jeden Beobachter, der mit meinem thermo-elektrischen

1) *Compt. rend. de l'acad. des Scienc. de l'Inst.* 10. Jan. 1853, p. 34.

Apparat versehen ist, in den Stand zu setzen, die Versuche zu wiederholen, welche die *Constanz der Durchgänglichkeit des Steinsalzes für alle Arten von strahlender Wärme* auf eine ganz entscheidende Weise darthun, will ich zuvörderst von der durch die Herren de la Provostaye und Desains angeregten Aufgabe alles Ueberflüssige entfernen.

Vollkommen reine Steinsalzplatten sind ziemlich selten; auch trifft man nicht leicht Thermomultiplicatore von äußerster Empfindlichkeit, und überdiess erfordern die Operationen, welche nöthig sind, um das Instrument zu graduiren und die den Graden seiner Scale entsprechenden Kräfte zu erfahren, eine gewisse Geschicklichkeit und eine große Dosis Geduld. Glücklicherweise sind indess die äußerste Empfindlichkeit, die Kenntniß des Verhältnisses der Wärmekräfte zu den Graden des Thermomultiplicators und die vollkommene Reinheit des Steinsalzes nicht unerläßlich für den von mir beabsichtigten Zweck; es bedarf dazu nur einer leidlich klaren Steinsalzplatte und eines mäßig empfindlichen thermoelektrischen Apparats.

Als ich das Glück hatte, mit Hrn. Biot meine ersten Versuche über die strahlende Wärme zu wiederholen, machte ich ihm bemerklich, daß es, um die Grade der Durchgänglichkeit verschiedener Wärmestrahlen durch eine gegebene Platte zur vollkommenen Evidenz zu bringen, es fast unerläßlich sey, die directe Wirkung der Strahlen auf die thermoskopische Säule, durch größere oder geringere Entfernung von der Quelle, stets eine gleiche Abweichung im Galvanometer hervorbringen zu lassen; denn, wenn man so verfähre, vernichte man im Voraus jeden Einwurf in Betreff der Verschiedenheit der Temperatur der strahlenden Quelle, und die gleiche oder verschiedene Größe der nach Einschaltung der Platte beschriebenen Bögen, erlaube dann, den hartnäckigsten Zweifler von der Beständigkeit oder Veränderlichkeit der durch einen selben Körper gehenden Wärmemenge zu überzeugen. Allein diese Methode hat, wie viele andere, eine gewisse Gränze, die man ohne Nachtheil nicht überschreiten darf; und um davon über-

zeugt zu werden, braucht man sich nur eines ältern Versuchs von mir zu erinnern, der seit lange in den meisten Lehrbüchern der Physik beschrieben ist.

Eine sehr intensive und wenig voluminöse Wärmequelle, wie die Flamme einer Locatelli'schen Lampe, wird im Brennpunkt eines kleinen messingenen Hohlspiegels befestigt. Fünf oder sechs Decimeter davon befindet sich ein doppelter Metallschirm, in seiner Mitte mit einem kleinen Loch versehen. Hinter dieses Loch stellt man eine wohl polirte, ziemlich dünne und in horizontaler Richtung hinreichend lange Steinsalzplatte, und weiterhin den thermoskopischen Körper. Das Instrument zeigt eine gewisse Ablenkung, welche sich unverändert hält, so lange die Platte gegen das einfallende Bündel winkelrecht oder 10 bis 12° geneigt ist. Wenn man aber diesen Neigungswinkel überschreitet, nehmen die Anzeigen der Wärmewirkung ab, und werden immer schwächer, in dem Maasse als man die Schiefe vergrößert. Andererseits weiß man, daß, bei winkelrechter Incidenz, die Dicke einer recht reinen Steinsalzplatte keinen merklichen Einfluß auf die durchgelassene Wärmemenge hat. Die bei der Schiefe beobachtete Verringerung rührt also nicht her von der größeren Strecke der durchlaufenen Substanz, sondern von der stärkeren Reflexion, die dann die Strahlen an den beiden Oberflächen der Platte erleiden.

Dieser Versuch beweist einleuchtend, daß der Kunstgriff, die Quellen von niederer Temperatur zu nähern, damit ihre Strahlung auf den Apparat eben so stark sey als die der Quellen von höherer Temperatur, wohl anwendbar ist, so lange die schiefsten Incidenzen der Strahlen auf die diathermische Platte nicht über 12° hinausgehen, daß man ihn aber aufgeben muß, sobald die Diagonalen, gezogen von den Rändern der strahlenden Oberfläche zu den gegenüberstehenden Rändern des thermoskopischen Körpers oder, genauer, zu den gegenüberstehenden Rändern der Mündung des ihm zur Hülle dienenden Rohrs, mit der

eingeschalteten Platte einen größeren Winkel als diese Gränze bilden.

Wenden wir diese Data auf den vorliegenden Fall an. — Mein Apparat hat gewöhnlich vier Haupt-Wärmequellen: eine Oelflamme, eine glühende Platinspirale, eine gekrümmte Platte von geschwärztem Kupfer, die von hinten durch eine Alkoholflamme auf eine dem Glühen nahe Temperatur gebracht wird; und ein, ebenfalls geschwärztes Kupfergefäß voll siedendheißen Wassers. Repräsentirt man graphisch den strahlenden Körper, die thermoskopische Säule, den Schirm und die Platte in ihren Distanz- und Dimensions-Verhältnissen, so überzeugt man sich leicht, daß die ersten drei Quellen, so aufgestellt im Apparat, daß sie am Galvanometer einen anfänglichen Ausschlag von 30 bis 35° geben, der für das Divergenz - Maximum der einfallenden Strahlen gestellten Bedingung Genüge leisten; auch geben sie alle *eine sehr geringe und stets gleiche Verringerung, wenn die eingeschaltete Platte von Steinsalz ist*, was die gleiche Durchgänglichkeit ihrer Strahlen durch diesen Körper erweist. Bemerke man hier wohl die Wahrheit dessen, was vorhin in Betreff der galvanometrischen Anzeigen gesagt ist. Die experimentelle Methode, welche zum Beweise des von den HH. De la Provostaye und Desains angegriffenen Satzes nothwendig ist, erfordert nicht die Kenntniß der numerischen Verhältnisse zwischen den Ablenkungen des Galvanometers und den sie erzeugenden Kräften, sondern es reicht hin, den ersten Ausschlag der Nadel zu beobachten, welcher erfolgt, wenn man die directe oder durchgelassene Wärmewirkung in die Röhre der Säule eintreten läßt, und man hat dann nur die Strahlung sogleich zu unterbrechen, sowie die Nadel nach Erreichung ihrer größten Ausweichung zurückzugehen anfängt. Diese Beobachtungsweise ist leicht, genau, geschwind, und erlaubt deshalb in sehr kurzer Zeit die zur Erlangung einer Gleichheit der einfallenden Strahlungen nothwendigen Anordnungen zu machen und in einigen Mi-

nuten die Vorkehrungen zu treffen, welche, um die kleinen, bei isolirten Beobachtungen leicht vorkommenden Unregelmäßigkeiten zu entfernen, nöthig sind.

Hat man nun mittelst des Würfels voll siedenden Wassers einen Ausschlag von  $30^\circ$  hervorgebracht, so wird die durch die Einschaltung der Steinsalzplatten bewirkte Verringerung (unter den von uns freiwillig gewählten Umständen) etwas stärker seyn als die, welche bei den drei vorhergehenden Wärmestrahlungen stattfindet; allein diese Verschiedenheit entspringt aus einer Veränderung der Reflexion, und nicht der Transmission. Davon kann man sich durch die graphische Construction überzeugen, doch ist es besser die folgende experimentelle Demonstration anzuwenden, da sie meines Erachtens ganz entscheidend ist.

Das Princip, welches beim Thermomultiplicator zur Messung von Wärmestrahlungen dient, bietet Hilfsquellen dar, die von den Physikern vielleicht noch nicht allgemein nach ihrem ganzen Werthe erkannt worden sind. Bekanntlich entspringen die Anzeigen dieses Instruments aus einem thermo-elektrischen Strom, welcher die Säule und das mit ihm zur Schließung verbundene Galvanometer durchläuft. Die Metalldrähte, welche die beiden Theile des Apparats vereinigen, können an den Enden leicht verbunden werden mit einer äußern Metallschließung, die einen mehr oder weniger großen Theil des Stroms abzweigt, und somit, nach Belieben, die Empfindlichkeit des Instruments verringert. Ich sage nach Belieben, weil, wenn man sich eines Rheostats bedient, um welchen ein Draht von gleichen Dimensionen wie der des Galvanometers gewickelt ist, Empfindlichkeiten  $= \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}$  u. s. w. erhalten werden können, falls man den Draht des Rheostats in seiner ganzen Länge, oder zur Hälfte, zum Drittel, Viertel u. s. w. desselben anwendet. Allein dieß Verfahren erforderte langes Herumtappen ehe man dahin gelänge, genau die Drahtmenge ab- oder aufzuwickeln, welche zu der beabsichtigten Schwächung der Empfindlichkeit nöthig ist. Glücklicherweise

erleiden die thermo-elektrischen Ströme, vermöge der grossen Schwäche ihrer *Spannung*, einen so starken Verlust, wenn sie durch einen sehr dünnen Platindraht abgezweigt werden, daß zwei oder drei Zoll desselben, als äussere Leitung angewandt, genügend sind, dem Instrument jeden möglichen Grad von Schwächung mitzutheilen. Man kann sonach leicht die gewünschte Phase durch eine sehr kleine Veränderung in der Länge des Drahts erreichen, was nicht ermangeln wird, Hrn. Ruhmkorff Gelegenheit zu geben, seine schönen thermo-elektrischen Apparate durch Hinzufügung eines beweglichen Anhängsels zu vervollkommen, der für mehre Arten von Untersuchungen sehr nützlich wird, namentlich zum Erweise des capitalen Factums, welche die vorausgeschickten Notizen mir erlauben, hier in einigen Worten auseinander zu setzen.

Denken wir uns das Gefäß mit siedendem Wasser dicht an das Loch eines Metallschirms gestellt. In kleinem Abstand von diesem Schirm und zwar auf derselben Axe stehe ein anderer, und hinter diesem, auf einem Gestell, die Steinsalzplatte; dann endlich die thermo-elektrische Säule. Nimmt man die Oeffnung des thermoskopischen Körpers mehr oder weniger weit und nähert denselben zweckmäfsig, so kann man es immer dahin bringen, daß die Strahlen, welche von dem kreisrunden Theil des Gefäßes von 100° frei auf diesen Körper strahlen, 30° am Galvanometer geben. Wann dieses Resultat erhalten ist, schalte man die Steinsalzplatte ein, und beobachte die Verringerung, welche vermöge der Reflexion stattfindet. Hierauf ersetze man das Gefäß mit siedendem Wasser durch die Kupferplatte, die von hinten durch eine grosse Alkoholflamme bis nahe zum Glühen erhitzt worden ist, mit der Vorsicht, daß die kreisrunden Flächen, welche auf den thermoskopischen Körper strahlen, in beiden Fällen gleich und gleich entfernt seyen. Man verbinde nun den Ableitungsapparat mit dem Galvanometer und verringere damit dessen Empfindlichkeit so weit, daß man, ungeachtet der höheren Intensität der neuen Wärme-

quelle, wiederum den normalen Ausschlag von  $30^\circ$  erhalte. Die Einschaltung der Steinsalzplatte wird nun genau dieselbe Verringerung hervorbringen wie zuvor.

Es durchdringt mithin die Strahlung des bis zum Siedpunkt des Wassers erhitzten Kupfers das Steinsalz in demselben Verhältniss, wie die Strahlung des beinahe zu Rothgluth gebrachten Kupfers; und dieses strahlt durch dieselbe Substanz so viel wie die Flamme und das glühende Platin.

Es giebt also wirklich ein starres Medium, welches alle Arten strahlender Wärme mit gleicher Leichtigkeit durchlässt; eine Eigenschaft von höchster Wichtigkeit, denn sie bildet die wahrhafte und sichere Grundlage für die Theorie von der Identität des Principis, welches die leuchtenden und die dunklen Wärmestrahlungen erzeugt.

---

## VI. Ueber die Stellung von Legirungen und Amalgamen in der thermoelektrischen Spannungsreihe; von W. Rollmann in Stargard.

(Schluss von Band 84, S. 284.)

### 9. Die Antimon-Zink-Legirungen.

Es giebt die Reihe dieser Legirungen das zweite Beispiel von Metallcompositionen, welche positiver als Antimon sind. Das erste lieferten die Wismuth-Zinn-Legirungen <sup>1)</sup>. Die Endglieder der Reihe, 1 Zink,  $\infty$  Antimon und 1 A.  $\infty$  Zk. schliessen sich dem Antimon und Zink jedes auf der positiven Seite an. Die untersuchten Legirungen haben folgende Stellung zu einander und zu den fraglichen Metallen:

1) Pogg. Ann. Bd. 83, S. 80.



Metalle.	Legirungen.	
—	1 Zk. 2 A.	1 Zk. 2 A.
—	—	1 Zk. 4 A.
—	—	1 Zk. 8 A.
Antimon	—	—
—	1 Zk. 1 A.	—
Eisen	—	—
—	2 Zk. 1 A.	—
—	4 Zk. 1 A.	—
—	∞ Zk. 1 A.	—
Zink	—	—

Die Erwärmung an der Berührungsstelle war nur gering.

Seebeck führt drei Antimon-Zink-Legirungen an und zwar in folgender Stellung:

3 Ant. 1 Zk.

1 Ant. 1 Zk.

Antimon

1 Ant. 3 Zk.

Eisen.

Die Stellung derselben stimmt nicht ganz mit der in der Tabelle angegebenen überein.

#### 10. Die Wismuth-Zink-Legirungen.

Dieselben stehen sämmtlich zwischen den beiden fraglichen Metallen, so dafs sie sich jedem derselben um so näher stellen, jemehr sie davon enthalten. Die Stellung der einzelnen Legirungen zu den Metallen, welche in der Spannungsreihe ihren Platz zwischen Wismuth und Zink haben, zeigt folgende Tabelle:

Metalle.	Legirungen.
Zink	—
—	16 Zk. 1 W.
Silber	—
—	8 Zk. 1 W.
—	4 Zk. 1 W.
Kupfer	—
—	2 Zk. 1 W.
Blei	—

Metalle.	Legirungen.
Platin	—
—	1 Zk. 1 VV.
Neusilber	—
—	1 Zk. 2 VV.
—	1 Zk. 4 VV.
—	1 Zk. 8 VV.
—	1 Zk. 16 VV.
Wismuth	—

Diese Zusammenstellung gilt nur für geringere Temperaturdifferenzen; werden dieselben höher, so rücken die Legirungen dem Zinke näher.

#### 11. Die Zinkamalgame.

Diese Amalgame, die in der Hydrokette eine so bedeutende Rolle spielen, zeigen, wenigstens in den untersuchten Arten mit überwiegendem Zinkantheil, nichts Auffallendes in ihrem thermoelektrischen Verhalten. Sie geben, untereinander combinirt, sämmtlich nur schwache Ströme, und stellen sich, wie folgende Tabelle zeigt, ganz einfach zwischen Zink und Quecksilber.

Metalle.	Amalgame.
Zink	—
—	8 Zk. 1 Q.
—	4 Zk. 1 Q.
—	3 Zk. 1 Q.
Silber	—
—	2 Zk. 1 Q.
—	1 Zk. 1 Q.
Kupfer	—
Platin	—
Quecksilber	—

#### 12. Die Wismuthamalgame.

Sie sind von Seebeck untersucht, der ihnen ihre Stelle zwischen Wismuth und Quecksilber anweist <sup>1)</sup>.

1) In »Tabelle I.« Bd. 83, S. 80 haben durch ein Versehen von meiner Seite die beiden positivsten Legirungen eine falsche Stellung erhalten. 16 VV. 1 Z. muß über 12 VV. 1 Z. stehen.

Um möglicher Weise den Grund der oft so auffallenden Anordnung der Legirungen in den einzelnen Reihen zu finden, unterwarf ich noch einmal die Reihe der Wismuth-Zinn-Legirungen einer genaueren Prüfung, indem ich eine Anzahl neuer Legirungen, die in den Wendepunkt der Reihe, also zwischen 12 W. 1 Z. und 32 W. 1 Z., fallen mußten, hinzufügte. Hierbei ergab sich, daß die positivste aller zwischen 14 W. 1 Z. und 16 W. 1 Z. zu suchen war. Die Vermuthung, daß diese positivste Legirung vielleicht eine chemische Verbindung sey, lag nahe; denn daß zwischen den genannten Legirungen eine chemische Verbindung liegen kann, ist leicht zu sehen. Das Aequivalent des Wismuth ist nach R. Schneider = 208 <sup>1</sup>), das des Zinns = 58,82, also ist:

$\text{Bi}_4 \text{ Sn} = 14\frac{1}{2}$  Gew. Thl. Wismuth + 1 Gew. Thl. Zinn.

Legt man die früher gültige Atomzahl für Bi = 212,8 der Rechnung zu Grunde, so ergibt sich:

$\text{Bi}_4 \text{ Sn} = 14\frac{1}{2}\frac{1}{4}$  Gew. Thl. Wismuth + 1 Gew. Thl. Zinn.

Die thermoelektrische Untersuchung ergab nun für die Stellung dieser Legirungen folgendes Resultat:

14 $\frac{1}{2}$ W. 1 Z.	14 $\frac{1}{2}$ W. 1 Z.
—	14 $\frac{1}{4}$ W. 1 Z.
—	15 W. 1 Z.
14 W. 1 Z.	—
—	16 W. 1 Z.
12 W. 1 Z.	—
10 W. 1 Z.	—
—	32 W. 1 Z.
8 W. 1 Z.	—

Die Tabelle zeigt also, daß man die positivste aller Wismuth-Zinn-Legirungen erhält, wenn man  $\text{Bi}_4 \text{ Sn}$  nach R. Schneider's Aequivalentbestimmung bildet, denn dieser entspricht nahezu 14 $\frac{1}{2}$  W. + 1 Z.

Nach diesem einen Beispiele sollte man also glauben, daß die auffallende Stellung vieler Legirungen in der thermoelektrischen Reihe davon herrühre, daß sie chemische Verbindungen sind oder enthalten. Bei den chemischen

1) Annal. Bd. 82, S. 303.

Verbindungen sind wir es gewohnt, daß sie andere physikalische Eigenschaften zeigen als ihre Bestandtheile; so würde es also auch nicht auffallend seyn, daß eine Verbindung von Wismuth und Zinn positiver als Antimon ist, ebenso wie Eisenoxydul weit negativer als Eisen ist. Liefse sich also für  $\text{Bi}_4\text{Sn}$  noch anderweit eine Eigenthümlichkeit in den physikalischen Eigenschaften nachweisen, so wäre die Annahme, es sey eine chemische Verbindung, gegründet. Es liegt am Nächsten, den Schmelzpunkt dieser Legirung zu beobachten, wie es Rudberg gethan, der für Wismuth und Zinn bereits eine chemische Verbindung  $\text{Bi Sn}_3$  nachgewiesen hat, die sich durch ihre Leichtflüssigkeit auszeichnet. Sie schmilzt nämlich nach Rudberg bei  $143^\circ$ . Meine Versuche haben mir jedoch für  $\text{Bi}_4\text{Sn}$  keinen feststehenden Erstarrungspunkt gegeben, wie aus Folgendem hervorgeht:

Legirung, bestehend aus:	20 G. Thl. VV.	17 G. Thl. VV.	15 G. Thl. VV.	14 G. Thl. VV.
	1 » Z.	1 » Z.	1 » Z.	1 » Z.
1. Erstarrungspkt.	248° C.	246°	241°	239°
2. Erstarrungspkt.	136°,5	136°,5	136°,5	136°,5

Der zweite Erstarrungspunkt bei  $136^\circ,5$  gehört der leichtflüssigsten Rudberg'schen Verbindung an. Woher aber die Differenz von  $6^\circ,5$  komme, kann ich nicht entscheiden.

Der erste Erstarrungspunkt deutet auf eine Legirung des überschüssigen Wismuth mit einem stets wachsenden Antheile Zinn; er entscheidet also die Frage nach einer zweiten chemischen Verbindung nicht.

Was die übrigen Reihen der Legirungen anbetrifft, so liefse sich zwar überall leicht die Möglichkeit einer chemischen Verbindung an ihren Wendepunkten durch Rechnung nachweisen; doch ist der experimentelle Beweis, daß eine solche Legirung nach den Atomgewichten auch wirklich die äußerste in der Reihe ist, wegen der meist sehr schwachen Ströme zu trügerisch. Am besten eigneten sich dazu die besprochenen Wismuth-Zinn-Legirungen.

VII. *Ueber die Geschwindigkeit des Schalls;*  
*von Hrn. A. Bravais,*

Professor an der Polytechnischen Schule.

(*Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXXIV, p. 82.*)

Beim Lesen der Abhandlung des Hrn. Potter über die Geschwindigkeit des Schalls, im letzten Hefte dieser Zeitschrift <sup>1)</sup>, schien mir, daß man die Theorie des Verfassers nicht füglich unbeantwortet lassen könne; denn dieselbe hat nichts weniger im Sinn, als die Laplace'sche Formel umzustürzen, die bekanntlich auf die abwechselnd entgegengesetzten thermischen Effecte, welche die Schallfortpflanzung begleiten, gegründet ist.

Hr. Potter unterdrückt im Ausdruck für das Quadrat der Schallgeschwindigkeit den Laplace'schen Factor  $\frac{c}{c_1}$ , welcher das Verhältniß der specifischen Wärme unter constantem Druck zu der bei constantem Volume vorstellt; allein andererseits multiplicirt er, nach einer unrichtigen Betrachtungsweise der Contractionen und Dilatationen, jene Zahl mit 3, und zugleich dividirt er, in Folge einer gewissen Combination von antagonistischen Drucken, die auf das Gaselement einwirken, die bewegende Kraft dieses Elements durch die Zahl 2. Nachdem er so den Factor  $\frac{3}{2}$  für den Laplace'schen Factor  $\frac{c}{c_1}$  gesetzt, schließt er mit der Behauptung, die Uebereinstimmung zwischen Theorie und Erfahrung sey vollkommen hergestellt.

Ich will versuchen zu zeigen, daß diese Sätze falsch sind. Zuvörderst scheint Hr. Potter zu glauben, daß die durch die Ausdehnung erregte Kälte die Schallgeschwindigkeit um ein Sechstel zu klein mache. Aber niemals hat Laplace eine solche Meinung gehegt, wovon man sich überzeugen kann, wenn man einen Blick auf seine Ab-

1) D. h. *Ann. de chim. et de phys. Ser. III. T. XXXIII. p. 327* (wo der Aufsatz aus dem *Philos. Magaz. 1851 T. I. p. 101* genommen ist).

handlung in den *Connaissances des Temps* f. 1825 p. 304 wirft; Laplace citirt daselbst zur Stütze seiner Theorie zwei Versuche: den einen von Clément und Desormes, die mit Luft auf dem Wege der Verdichtung operirt hatten, und den andern von Gay-Lussac und Welter, die dagegen den Weg der Verdünnung eingeschlagen hatten. Beide Methoden gaben gleichmäfsig für den Quotienten der Veränderung des Drucks durch die Veränderung der Dichtigkeit eine Zahl, welche sie aus dem Mariotte'schen Gesetz abgeleitete übertraf, und zwar sehr nahe in dem Verhältnifs 1,37 zu 1. Was den Grund des Einwurfs betrifft, so haben wir uns kaum damit zu beschäftigen; denn es ist einleuchtend, dafs die Ausdehnungskälte die Schallgeschwindigkeit um eben so viel vergrößert, als es die Verdichtungswärme thut.

Etwas weiterhin setzt Hr. Potter hinzu, dafs man weder die durch die Verdichtungen entwickelte Wärme, noch die durch die Ausdehnungen erregte Kälte in Rechnung zu ziehen brauche, da die Geschwindigkeit des Schalls, wie er sagt, weder mit dessen Stärke, noch mit dessen Tiefe oder Höhe variirt.

Was die Höhe des Tons betrifft, so wird man bemerken, dafs sie von der Art des Abwechsels der successiven Erschütterungen abhängt, und nichts gemein hat mit der Fortpflanzung dieser Erschütterungen. Die Einflufslosigkeit der Intensität des Schalls auf die Geschwindigkeit desselben, bei starken oder schwachen Erschütterungen, beweist nur, dafs die bewegende Kraft des Gaselements beständig proportional bleibt dem Unterschiede der Verdichtungen vor und hinter dem Element. Diefs scheint *a priori* hinreichend klar, wenigstens für einen gegebenen Barometerdruck der Luft und für kleine Verdichtungen, wie sie bei der Bewegung der Schallwellen gewöhnlich erzeugt werden; allein es ist auch klar, dafs diefs nichts vorausschliessen läfst über den absoluten Werth des Verhältnisses, welches zwischen dem Unterschiede der Drucke auf die vordere und hintere Fläche und dem Unterschiede der Verdichtungen im Contact

tact dieser selben Flächen existirt. Und gerade um den absoluten Werth dieses Verhältnisses dreht sich die gegenwärtige Discussion allein.

Ich komme nun zu den Berechnungen des Hrn. Potter, bei welchen er kubische Molecüle annimmt, was man ohne Schwierigkeit zulassen wird, obgleich eine solche Betrachtungsweise keineswegs erwiesen ist; allein es ist nicht hierin, worin der Widerspruch zwischen der neuen und alten Theorie eigentlich liegt. Weitergehend nimmt Herr Potter an, daß, bei Fortpflanzung der Bewegung, nicht allein die mit der Fortpflanzungsaxe parallelen Dimensionen dieser Würfel Condensationen oder Dilatationen erleiden, sondern auch die beiden anderen Dimensionen, die Querdimensionen, und zwar in *gleichem Maasse*. Diefs aber kann in keiner Weise zugegeben werden; denn man weiß sehr wohl, daß bei der Bewegung in einem Cylinder von unbegrenzter Länge kein Druck winkelrecht gegen die Wände ausgeübt wird; und bei der Bewegung in einem unbegrenzten Mittel ist die Sache nicht minder klar, denn wenn man z. B. eine sehr dünne verdichtende Welle betrachtet, die den ursprünglichen Erschütterungsmittelpunkt zum Centrum hat, so ist es unmöglich transversale, d. h. für die Schicht tangentielle, Condensationen bei jedem der kleinen Würfel dieser Schicht anzunehmen, ohne nicht zugleich eine allgemeine Vergrößerung der die Würfel trennenden Räume zuzulassen, und eine solche Hypothese würde zu neuen durchaus gezwungenen und unzulässigen Voraussetzungen nöthigen. Bisher hat man niemals angenommen, daß bei der Schwingungsbewegung der Luft in parallelen Schichten transversale Vibrationen vorhanden seyen. Eine solche Betrachtungsweise ist nur für das Licht angenommen, und selbst für diesen Fall betrachtet man die Transversalvibrationen des Aethers zusammengesehend, d. h. ohne Dichtigkeitsänderung, ohne Contraction oder Dilatation in der Ebene der Welle.

Indem er die einfache lineare Condensation in Richtung der Fortpflanzungsaxe ersetzt durch eine kubische von

gleichem Werthe nach den drei Dimensionen, gelangt Herr Potter zu einer drei Mal zu groſsen Druckveränderung und multiplicirt also die bewegende Kraft der Schicht oder des Gaselements durch 3.

Nennen wir nun mit Hrn. Potter  $x$  die Abscisse des erschütterten Punkts, gelegen auf der Fortpflanzungsaxe, die zur Axe der  $x$  genommen ist; diese Abscisse bezieht sich auf einen der Erschütterung vorausgegangenen Zustand. Beim Bewegungszustand verändert sich  $x$  in  $y$ . Es ist also  $y - x$  die Verschiebung längs der Axe, und  $\frac{d(y-x)}{dx}$  oder  $\frac{dy}{dx} - 1$  repräsentirt den Zustand linearer Dilatation einer unendlich dünnen Schicht, die auf der Axe winkeltrecht ist, und durch den Punkt, dessen Abscisse  $x$  ist, geht. Giebt man nun, mit Hrn. Potter, dem Gaselement, dessen Bewegung man sucht, in Richtung der Axe eine Dicke  $2\delta x$ , so wird sein Dilatationszustand, da er an der Hinterfläche durch  $\frac{dy}{dx} - 1$  repräsentirt ist, an der Vorderfläche seyn:

$$\frac{dy}{x} - 1 + 2\delta x \frac{d\left(\frac{dy}{dx} - 1\right)}{dx}$$

Der Ueberschufs der vorderen Dilatation über die hintere wird also:  $2\delta x \frac{d^2y}{dx^2}$ , und nimmt man den Querschnitt des Elements zur Flächeneinheit und die actuelle Dichtigkeit zur Dichtigkeitseinheit, so wird der entsprechende propulsive Druck:  $2\delta x \frac{d^2y}{dx^2} Hg$ , wo  $H$  und  $g$  dieselbe Bedeutung haben wie in dem Aufsatz des Hrn. Potter. Dividirt man endlich durch die Masse, welche gleich  $2\delta x$  ist, so erhält man den Werth der beschleunigenden Kraft  $\frac{d^2y}{dt^2}$ , welche das Element antreibt sich von hinten nach vorne zu bewegen, und so kommt man auf die bekannte und von allen Physikern angenommene Formel zurück:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = Hg \frac{d^2y}{dx^2}.$$



Allein Hr. Potter räsonnirt nicht also. Er sucht die Werthe von  $y$ , welche  $x + \frac{1}{2}(2\delta x)$  und  $x - \frac{1}{2}(2\delta x)$  entsprechen. Für den ersten dieser beiden Werthe, den er mit  $y''$  bezeichnet, findet er durch die Taylor'sche Formel:

$$y'' = y + \frac{dy}{dx}\delta x + \frac{d^2y}{dx^2} \cdot \frac{\delta x^2}{2} + \dots$$

und stillschweigends nimmt er an, daß  $\frac{y'' - y}{\delta x}$  den Dilatationszustand an der Vorderfläche im Sinne parallel der Axe vorstelle, was aber nicht der Fall ist; denn um diesen Dilatationszustand zu erhalten, müßte er  $y''$  in Bezug auf  $\delta x$  differenziren, was gäbe

$$\frac{dy''}{d\delta x} = \frac{dy}{dx} + \frac{d^2y}{dx^2}\delta x + \dots$$

während Hr. Potter für denselben Dilatationszustand findet:

$$\frac{y'' - y}{\delta x} = \frac{dy}{dx} + \frac{d^2y}{dx^2} \cdot \frac{\delta x}{2} + \dots$$

Dieselbe Verschiedenheit in den Resultaten zeigt sich bei der Hinterfläche, wo Hrn. Potter's Methode für den Dilatationszustand giebt

$$\frac{dy}{dx} - \frac{d^2y}{dx^2} \cdot \frac{\delta x}{2} + \dots$$

während die Methode aller Physiker giebt

$$\frac{dy}{dx} - \frac{d^2y}{dx^2}\delta x + \dots$$

Man begreift sonach, warum Hr. Potter, in den Unterschied der auf die Vorder- und Hinterfläche ausgeübten Wirkungen einen Factor von der Form  $\frac{d^2y}{dx^2} \cdot \frac{\delta x}{2}$  einführt, während derselbe Factor, nach der üblichen Folgerungsweise, den Werth  $\frac{d^2y}{dx^2}\delta x$  hat, d. h. doppelt so groß ist.

Es bleibt nun noch zu entscheiden, welches Verfahren, vom physikalischen Standpunkt aus, den Vorzug verdiene. Darüber kann nun aber nicht der geringste Zweifel bleiben. Allerdings ist es sehr wahr, daß  $\frac{y'' - y}{\delta x}$  den mittleren Zu-

stand der Dilatation, im Sinne der Fortpflanzungslinie, der Vorderhälfte des Elements ausdrückt; allein wie auch der Druck vermöge dieser Dichtigkeitsänderung in der Vorderhälfte des Elements zu- oder abnehme, so ist doch diese Veränderung ganz unfähig das Element selbst zu bewegen. In der That muß man die Ursache seiner Bewegung nicht in diesem Element suchen, sondern in den unendlich dünnen Schichten welche der Vorderfläche unendlich nahe, also nothwendig außerhalb derselben liegen. Niemals hat, unseres Erachtens, das Gesetz der Trägheit und Beweglichkeit der Körper anders ausgelegt werden können. Eben so verhält es sich bei der Hinterfläche des Elements, wenn man im Ausdruck für den Dilatationszustand  $\delta x$  in  $-\delta x$  verwandelt.

Es bleibt mir noch übrig zu zeigen, daß die Einführung des Factors  $\frac{3}{2}$  in die Wurzelgröße  $\sqrt{gH}$  keineswegs eine glückliche Uebereinstimmung zwischen der Theorie und Beobachtung herstellt. Man hat nämlich, nach den Versuchen des Hrn. Regnault <sup>1)</sup>, trockne Luft, zu Paris und bei 0° genommen, vorausgesetzt:

$$H = 0^m,760 \frac{13,596}{0,0012932} = 7971^m,9;$$

man hat ferner zu Paris  $g = 9^m,809$ , woraus  $\sqrt{gH} = 279^m,63$  und

$$\sqrt{\frac{3}{2}gH} = 342^m,88.$$

Nach der Laplace'schen Formel und  $\frac{c}{c_1} = 1,37$  genommen, fände man, nach dem Resultat der zu Anfange dieser Notiz erwähnten Versuche:

$$\sqrt{gH} \frac{c}{c_1} = 327^m,3;$$

allein Hr. Masson hat, bei ganz besonders sorgfältiger Wiederholung der Clément-Desormes'schen Versuche,

1) *Relation des experiences Paris 1847, p. 158. (Ann. Bd. 74, S. 209).*

gefunden:  $\frac{c}{c_1} = 1,419$  '); mit diesem neuen Werth, der alles Vertrauen zu verdienen scheint, giebt die Formel

$$\sqrt{gH} \frac{c}{c_1} = 333^m,1.$$

Andererseits erhielten wir, Hr. Martins und ich <sup>2)</sup>, durch Discussion aller bisher gemachten Messungen der Schallgeschwindigkeit, nach deren Reduction auf 0°, die Zahl

$$332^m,3.$$

Die Zahl des Hrn. Potter entfernt sich also um wenigstens 10 Meter von der Wahrheit, während man behaupten kann, daß gegenwärtig die aus der Laplace'schen Theorie hergeleitete Geschwindigkeit kaum um 1 oder 2 Meter von der beobachteten abweiche.

Während der Abfassung dieser Notiz sehe ich, daß die Abhandlung des Hrn. Potter einen lebhaften Streit im *Philosophical Magazine* hervorgerufen hat und daß die Laplace'sche Theorie schon durch die HH. Rankine, Stokes und Haughton gegen die Einwürfe des Hrn. Potter vertheidigt worden ist.

1) *Physique de Péclet*, 4. édit. T. 1, p. 571; Hr. Péclet giebt die Zahl 1,41; allein Hr. Masson selbst giebt als Mittel seiner Versuche die Zahl 1,419.

2) *Annal. de chim. et de phys. Ser. III, T. XIII, p. 25.* (Diese Ann. Bd. 66, S. 351.)

VIII. *Verfahren, die Schwingungen eines elastischen Stabes sichtlich und zählbar zu machen; von Hrn. Montigny.*

Professor zu Namur.

(*Bullet. de l'acad. de Bruxelles T. XIX. pt. I. p. 227.*)

Wenn man einen langen und dünnen elastischen Stab, wie den einer Stricknadel, (*aiguille d'acier ordinaire*) an einem Ende zwischen den Fingern hält und darauf in eine rasche schwingende Bewegung versetzt, so gewahrt man bekanntlich in allen Lagen zwischen den Schwingungsgränzen nur eine Spur desselben, und blofs an den beiden Gränzen erblickt man ihn deutlich, weil an diesen Orten seine Geschwindigkeit und folglich auch die seines Bildes auf der Netzhaut Null wird. Wenn aber das freie Ende des Stabes an einer jener Gränzen wiederholte Stöße von einem festen Gegenstand bekommt, so erregen sie in dem Stabe Querschwingungen, deren eigenthümliche Bewegung, indem sie sich mit der allgemeinen Translationsbewegung combinirt, den Stab in den zwischen den Extremen der Ausbiegung begriffenen Lagen sehr deutlich macht.

Diefs letztere Phänomen der Wahrnehmung des Bildes von einem in Translations- und Vibrations-Bewegung begriffenen Stabe ist schon früher beobachtet, und neuerdings von Hrn. Antoine <sup>1)</sup> wieder in Erinnerung gebracht.

Die Beobachtung eben dieses Phänomens führte mich auf die Idee eines sehr einfachen Verfahrens zur Zählung der Schwingungen eines elastischen Stabes in gegebener Zeit. Wenn das Ende des Stabes, um welchen die Schwingungen geschehen müssen, winkelrecht auf einer Rotationsaxe befestigt ist, und wenn, während diese rasch rotirt,

1) *Résonnance multiple et phénomènes optiques par les corps vibrants*, in den *Ann. de chim. et de phys.*, 1849, T. XXVII (diese Ann. Bd. 81, S. 544.)

das freie Ende einen Stofs gegen einen festen Gegenstand bekommt, so machen die auf diese Weise in seiner Rotations-ebene erregten Querschwingungen des Stabes, diesen auf seiner ganzen Länge in vom Centrum auslaufenden und gleich-abständigen Lagen sichtbar.

Die Anzahl der während einer vollständigen Umdrehung sichtbaren Bilder des Stabes steht im Verhältniß zu der seiner Schwingungen während dieser Umdrehung. Um dies Verhältniß aufzufinden, bemerke man, daß der Effect der Querschwingungen dahin geht, jedem Punkte des Stabes eine sehr rasche Schwingungsbewegung einzuprägen, deren Richtung aber in zwei einander folgenden Oscillationen sich ändert. Indem sich diese Bewegung mit der Translationsbewegung des ganzen Stabes combinirt, ändert sie die absolute Bewegung jedes seiner Punkte ab, so daß diese abwechselnd beschleunigt oder verzögert wird, je nach dem Sinn der Schwingungs- zur Translationsbewegung. Diese Beschleunigungen und Verzögerungen erreichen offenbar ihre Maxima gegen die Mitte jeder Schwingung, weil in diesem Punkte die schwingende Bewegung des Stabes in dem einen oder andern Sinne am größten ist. Daraus folgt, daß es durch die Combination beider Geschwindigkeiten die Mitte der Schwingung ist, wo die absolute Geschwindigkeit des Stabes ihr Maximum oder Minimum erreicht, je nachdem die Vibrationsbewegung gleiche oder entgegengesetzte Richtung wie die Translationsbewegung hat.

Geht man aus von dem Plateau'schen Satz: *daß es zur vollständigen Ausbildung eines Eindrucks auf die Netzhaut einer sehr merklichen Zeit bedarf*, so gelangt man zu dem Schlufs, daß der Eindruck, welcher von dem in doppelter Bewegung begriffenen Stabe gemacht wird, vollständiger seyn muß an den Orten seiner geringeren Geschwindigkeit, als an denen seiner größeren. Nach diesem Satz und nach dem, was so eben über die Veränderungen der absoluten Geschwindigkeit des Stabes gesagt worden ist, müssen die Lagen, wo er wahrnehmbar wird, sich während der der Translationsbewegung entgegengesetzten Schwin-

gungen einstellen; denn es ist während jeder Schwingung von dieser Richtung, daß sich eine Phase von geringerer Geschwindigkeit des Stabes einstellt. Daraus folgt, daß das Auge den Stab nur bei jeder zweiten Schwingung wahrnimmt, und daß man, um die in einer gegebenen Zeit gemachten einfachen Schwingungen zu erhalten, die Anzahl der in derselben Zeit gesehenen Bilder des Stabes doppelt nehmen muß. Ein weiterhin angeführter Versuch bestätigt diese Folgerung aus dem Plateau'schen Satz. Diefes ist auch, scheint mir, die Meinung, welche Hr. Antoine kurz ausspricht <sup>1)</sup>; und wirklich geht aus seinen Versuchen hervor, daß er, bei dem Phänomen der Wahrnehmung eines zugleich in Vibrations- und geradliniger Translationsbewegung begriffenen Stabes, annimmt, man sehe die Bilder des Stabes deutlich in einer und derselben Lage, welche der Stab bei jeder einfachen Schwingung einnimmt.

Die Orte der Wahrnehmung des Stabes bei jeder rückgängigen Schwingung entsprechen den Zeitpunkten, wo die entgegengesetzten Geschwindigkeiten der Vibration und Translation gleich sind oder der Gleichheit am nächsten kommen. Offenbar werden diese Orte insgemein mit der Mitte der Schwingung zusammenfallen, wo die schwingende Bewegung ihr Maximum erreicht; denn mag bei dieser Phase die Geschwindigkeit geringer als die der Translation oder ihr gleich seyn, so hat doch in beiden Fällen die absolute Geschwindigkeit in der Mitte ein Minimum oder einen Null-Werth. Geschieht es andrerseits, daß in diesem Punkt die Vibrationsgeschwindigkeit größer ist als die Translationsgeschwindigkeit, die entgegengesetzte Richtung hat, so wird sich die Null-Phase der absoluten Geschwindigkeit nicht genau in der Mitte der rückgängigen Schwingung zeigen, sondern in zwei zu beiden Seiten gleich weit von der Mitte ab liegenden Punkten, an welchen die Geschwindigkeit der Vibration genau der der Translation gleich ist. Da aber diese beiden Punkte insgemein der Mitte sehr nahe liegen, vor allem bei der Bedingung, daß der

1) A. a. O. p. 198.

Unterschied der Geschwindigkeiten im Mittelpunkt unbedeutend sey, so werden die beiden vollständigeren und auch wenig getrennten Bilder in ein einziges Bild zusammenfließen, und offenbar wird dies nur deutlich seyn, wenn die Translationsgeschwindigkeit nicht unterhalb einer gewissen Gränze liegt.

Ist die Translationsgeschwindigkeit gleichförmig, so müssen die Bilder des Stabes gleich-abständig seyn; denn die Augenblicke der Wahrnehmung hängen ab von der Zeit, die verfließt zwischen dem Zustandekommen einer selben Phase bei zwei successiven rückgängigen Vibrationen. Diese Zwischenzeiten sind aber gleich, weil die Schwingungsbewegung des Stabes vermöge ihrer Natur isochron ist. Durch die Combination dieser Bewegung mit der gleichförmigen Translationsbewegung müssen die Sichtbarwerden des Stabes in gleich-abständigen Lagen zu Stande kommen. Diese Gleichförmigkeit der Translationsbewegung erhält man leicht, so bald sie eine kreisförmige ist; auch sieht man die Bilder auf Radien entstehen, die einen gleichen Winkel mit einander machen. Diese Gleichheit der räumlichen Vertheilung zeigt sich nicht mehr in der ganzen Strecke einer Ausbiegung des Stabes durch die Bewegung der Hand; nach den Endpunkten jeder Ausbiegung hin liegen die Bilder weniger aus einander als um die Mitte. Man begreift nämlich, daß die Translationsgeschwindigkeit nach diesen Endpunkten hin unmerklich abnehmen muß, um daselbst Null zu werden und ihre Richtung zu ändern; die Phasen der Wahrnehmung, obwohl stets isochron, zeigen sich also, nachdem der Stab Bogen durchlaufen hat, die an den Endpunkten der Ausbiegung kleiner sind als in deren Mitte, wo die Translationsbewegung am größten ist.

Geschieht die Umdrehung der Axe, an welcher der Stab befestigt ist, mit einer solchen Geschwindigkeit, daß auf der Netzhaut noch in demjenigen Augenblick ein Bild des Stabes merklich verweilt, wo auf demselben Radius des Kreises ein neues Bild entsteht, so beharren alle Bil-

der zwischen diesem letzten und dem ersten an denselben Orten des Umdrehungskreises, vorausgesetzt, die Geschwindigkeit bleibe gleichförmig; und es ist dann leicht, diese Bilder zu zählen.

Bezeichnet man mit  $t$  die Zeit einer vollen gleichförmigen Umdrehung der Axe, und mit  $n$  die Anzahl der während derselben wahrgenommenen Bilder, so ist  $\frac{t}{n}$  der Zeitraum zwischen den Durchgängen des Stabes durch die Orte, wo zwei benachbarte Bilder entstehen. Nach dem Gesagten drückt aber dieser Zeitraum denjenigen aus, welcher zwei doppelte Vibrationen trennt; folglich hat man, da die Anzahl der einfachen Vibrationen, jede von derselben Dauer  $\vartheta$ , während einer vollständigen Umdrehung das Doppelte von  $n$  ist, zum Ausdruck von  $\vartheta$ :

$$\vartheta = \frac{t}{2n}.$$

Das so eben in allgemeiner Weise auseinandergesetzte Verfahren, hängt ab, wie wir gesehen, von dem Beharren der Lichteindrücke auf der Netzhaut. Schon Hr. Wheatstone bediente sich dieses Beharens, um die transversale Schwingungsweise eines an einem Ende befestigten elastischen Stabes sichtbar zu machen, und zwar durch das folgende Verfahren, dessen kurze Auseinandersetzung ich aus der Note 20 des Hrn. Plateau zu dem *Traité de la lumière* des Hrn. J. Herschel, übersetzt von HH. Verhulst und Quetelet, entnehme<sup>1)</sup>). Ein Stab endigt in einer polirten Metallkugel und der Apparat wird dem Sonnenschein oder dem Licht einer Kerze ausgesetzt. Bringt man den Stab durch Abbiegen aus seiner Gleichgewichtslage zum Schwingen, und überläßt ihn dann sich selbst, so veranlaßt der glänzende Punkt, welchen die Sonne oder die Flamme auf der Kugel erzeugt, durch seine rasche Bewegung, das Erscheinen sehr schöner heller Curven, die je nach der Gestalt oder der Dimension des Stabes mehr oder weniger complicirt sind. Dieser, von Hrn. Wheatstone mit dem Namen *Kaleidophon* belegte, Apparat zeigt die von

1) Siehe Ann. Bd. X, S. 470.



einem hellen Punkt des schwingenden Stabes beschriebene stetige Linie, aber er läßt den Stab in den einzelnen Lagen seiner Schwingungen nicht erkennen, und erlaubt eben so wenig die von diesem in einer gegebenen Zeit gemachten Schwingungen zu zählen.

Mittelst der beiden Bewegungen, der Translation und der Vibration, des Stabes ist es leicht, wie man gesehen, gewisse Vibrationsphasen zu unterscheiden. Wendet man die Rotationsbewegung an, was bisher, glaube ich, zur Erzeugung dieses Phänomens noch nicht geschehen ist, so kann man hierdurch z. B. die Schwingungsgesetze elastischer Stäbe und unter andern das Gesetz zwischen der Schwingungsmenge und der Länge nachweisen. Diefes habe ich auch, als Anwendung des obigen Verfahrens, ausgeführt, indem ich Stahlstäbe von verschiedener Länge schwingen liefs.

Das Gesetz der Querschwingungen eines elastischen Stabes entspringt aus der folgenden, übrigens bekannten Formel, in welcher bezeichnet:  $e$  die Dicke des Stabes,  $l$  die Länge desselben,  $r$  und  $d$  die Steifheit und Dichtigkeit seiner Substanz,  $g$  die Schwerkraft und  $m$  eine ganze Zahl, die für eine selbe Schwingungsweise constant ist, deren absoluter Werth aber von einer Weise zur andern variirt, je nach der Zahl der Knoten. Bezeichnet überdies  $N$  die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde, so hat man für deren Werth:

$$N = \frac{m^2 e}{l^3} \sqrt{\frac{gr}{d}}.$$

Läfst man blofs  $l$  variiren, so ergibt sich hieraus:

$$N : N' = l'^2 : l^2$$

oder das Gesetz, daß die Schwingungsmengen sich umgekehrt wie die Quadrate aus den Längen der Stäbe verhalten.

Die hauptsächlichsten Vorrichtungen zur Ausführung dieser Versuche sind folgende: eine Holzscheibe von 0<sup>m</sup>,24 Durchmesser und 0<sup>m</sup>,06 Dicke auf einer senkrechten Axe, die durch einen hinreichend starken Mechanismus in Um-

drehung versetzt wird. In der Verlängerung der linearen Rotationsaxe sind zwei Kupferstücke von 4<sup>mm</sup> Dicke und 25<sup>mm</sup> Seite mittelst Schrauben wohl auf der Platte befestigt. In kleinem Abstand von einander parallel angebracht, dienen diese Stücke dazu, das feste Ende des schwingenden Stabes mittelst vier Druck-Schrauben stark einzuspannen. Der Stab befindet sich sonach parallel der Scheibe, in geringem Abstände von derselben. Die Stellung der beiden Kupferstücke erfüllt die Bedingung, daß der Durchschnitt der Einzwängung des Stabes, um welchen die Querschwingungen geschehen, sich in der Verlängerung der linearen Rotationsaxe befinde. Auf diese Weise laufen die Lagen, in welchen der Stab wahrnehmbar ist, radialiter von der Axe aus, die zugleich das Centrum der Schwingungsbewegung des Stabes und das der Rotation in seiner Ebene ist. Um bei jeder Umdrehung den Stab in Schwingungen zu versetzen, schlägt das freie Ende desselben gegen ein festes Kupferstück, welches sich durch eine Schraube dem vom Ende des Stabes beschriebenen Kreise nach Belieben mehr oder weniger nähern läßt, so daß sein Stofs Schwingungen von verschiedener Amplitude zu erregen vermag.

Wenn die Scheibe mit solcher Schnelligkeit rotirt, daß die Bilder des Stabes während einer vollständigen Umdrehung gleichzeitig wahrgenommen werden, so bleibt jedes derselben fast andauernd auf einem und demselben Radius, so lange die Scheibe dieselbe Geschwindigkeit behält. Oft indeß erleiden die Bilder eine Schwankung, die zwar klein ist, aber doch, weil dadurch die Bilder aus ihren festen Lagen gerückt werden, die Leichtigkeit des Zählens derselben beeinträchtigt, vor Allem, wenn die Anzahl derselben während einer Umdrehung der Scheibe groß ist.

Diese Schwankungen entspringen daraus, daß die Schwingungsebene des Stabes nicht beständig der Umdrehungsebene parallel bleibt. Man weiß nämlich, daß, wie sorgfältig man auch einen im Schraubstock eingespannten Stahlstab, durch Ablenkung aus seiner Gleichgewichtslage, in

Schwingungen versetzen möge, diese dennoch im Allgemeinen nicht eben bleiben. Meistens ändert die durch die extremen Lagen des Stabes, bei einer selben Schwingung, gelegte Ebene ihre Richtung beständig um die Gleichgewichtslage des Stabes. Begreiflicherwise mußten bei meinen Versuchen, durch dieselbe Aenderung der Schwingungsebene, die Orte, wo der Stab während seiner Umdrehung sichtbar wurde, merklich verschoben werden, obwohl diese Verschiebungen nur wenig Umfang hatten, weil die Schwingungen, bei jedem Umlauf der Scheibe, an dem festen Anschlagsstück neu erregt wurden.

Man kann übrigens den Effect dieser Schwankungen verringern, wenn man, wie ich es that, im Dunklen operirt und die Scheibe durch eine Lampe beleuchtet. Das von der Oberfläche des Stabes reflectirte Licht macht die Bilder desselben deutlicher. In diesen Sichtbarkeitslagen wirft der Stab dunkle Schatten auf die Scheibe, welche sich leicht zählen lassen, wenn man die Scheibe mit Papier überzogen hat. Wären diese Schatten auf eine ruhende Oberfläche geworfen, so würden sie leicht gestatten, eine große Menge Schwingungen zu zählen. Am einfachsten käme man zu diesem Resultat, wenn man die Axe der Scheibe horizontal legte und bis zu einem gewissen Abstand von derselben verlängerte, um den Stab von ihr zu entfernen und zwischen seiner Umdrehungsebene und der Scheibe eine Lichtquelle anzubringen. Die Schatten, welche dann der Stab auf eine davor aufgestellte feste Ebenewürfe, würden leicht sehr viele Bilder unterscheiden lassen.

Hat man die auf der rotirenden Scheibe wahrgenommenen Bilder gezählt, so erhält man die Anzahl der Doppelschwingungen des Stabes während einer Sekunde, wenn man die Anzahl der gesehenen Bilder multiplicirt mit den Umläufen der Scheibe während derselben Zeit. Das Doppelte dieses Products ist, nach dem Gesagten, die Anzahl der einfachen Schwingungen, welche der Stab innerhalb einer Sekunde vollbringt. Die mehr oder weniger große Menge der während eines Umlaufs der Scheibe wahrnehm-

baren Bilder hängt ab nicht allein von der Schnelligkeit der Schwingungen des Stabes, sondern auch von der Umdrehung der Scheibe. Die absolute Anzahl der Schwingungen in der Sekunde ist unabhängig von dieser Veränderung der wahrgenommenen Bilder, weil die Anzahl dieser sich umgekehrt verändert wie die Rotationsgeschwindigkeit. Die Dauer einer Umdrehung der Scheibe ergibt sich aus der langsameren Bewegung der übrigen Räder des Mechanismus. Um die Wahrnehmung der Bilder zu erleichtern, verändert man übrigens diese Elemente nach Belieben, entweder, indem man den Gang des Mechanismus durch Beschwerung des treibenden Gewichts beschleunigt, oder ihn, durch vermehrten Druck gegen die Rotationsaxe verzögert.

In der folgenden Tafel habe ich die Anzahl der einfachen Schwingungen in einer Sekunde für vier gewöhnliche Stahlstäbe von verschiedenem Durchmesser und verschiedener Länge zusammengestellt. Diese Zahlen stehen in der vierten Columne; die fünfte Columne enthält die theoretischen Zahlen, welche ihnen entsprechen und welche für einen selben Stab<sup>4</sup> berechnet sind nach dem Gesetz, daß die Schwingungsmengen sich umgekehrt verhalten wie die Quadrate seiner Längen. Es leuchtet ein, daß ich bei diesen Versuchen nur die Schwingungsweise, wo der Stab seiner ganzen Länge nach schwingt, betrachtet habe, für welche in der allgemeinen Formel  $m=1$  gesetzt werden muß.

No.	Dimensionen der Stäbe.		Schwingungen in 1".	
	Dicke.	Länge.	Beobachtet.	Berechnet.
2	1mm,84	0mm,10	298,0	
	do.	0 ,15	133,6	130,6
	do.	0 ,20	70,6	74,5
	1mm,63	0 ,10	227,2	
	do.	0 ,15	100,0	100,8
	do.	0 ,20	56,2	56,8
3	1mm,40	0 ,10	193,6	
	do.	0 ,15	84,6	86,0
	do.	0 ,20	50,0	49,0
4	1mm,17	0 ,10	155,4	
	do.	0 ,15	71,0	69,0
	do.	0 ,20	40,8	38,8

Die Unterschiede zwischen den beobachteten und berechneten Schwingungsmengen sind durchgehends sehr gering; der grösste steigt nur auf 4 Schwingungen pro Sekunde. Diese Abweichungen entspringen theils aus Ungleichheiten in der Steife oder Dicke, die ein und derselbe Stab an verschiedenen Querschnitten seiner Einspannung darbieten kann, theils aus unvermeidlichen Beobachtungsfehlern; sie können indess nicht abhalten, das Gesetz des umgekehrten Verhältnisses der Schwingungsmengen zu den Quadraten der Längen als bestätigt für elastische Stäbe anzusehen.

Auch das Gesetz, dafs für eine selbe Länge des Stabes die Oscillationen bei jeglicher Amplitude isochron sind, geht aus der von mir bestätigten Thatsache hervor: dafs die Schwingungsmengen eines und desselben Stabes von constanter Länge weder durch die Rotationsgeschwindigkeit der Scheibe, noch durch die Lage des die Oscillationen erregenden Anschlagsstücks verändert werden. Diese beiden Umstände, besonders der letztere, verändern die Amplitude der Oscillationen und müßten also auch ihre Dauer verändern, wenn diese nicht unabhängig von der Amplitude wäre. Obgleich dieß letztere Gesetz schon durch die Thatsache erwiesen wird, dafs ein elastischer Stab bei jeglicher Amplitude seiner Schwingungen einen Ton von gleicher Höhe giebt, so glaubte ich doch die Bestätigung desselben durch das angewandte Verfahren erwähnen zu müssen.

Aus der allgemeinen Formel geht hervor, dafs zwei cylindrische Stäbe von gleicher Dichte, gleicher Steife, gleicher Länge, aber verschiedenen Durchmesser  $e$  und  $e'$  in derselben Zeit Schwingungsmengen vollführen, die im Verhältnifs der Dicken stehen, d. h. dafs

$$N : N' = e : e'.$$

Die Resultate der vorstehenden Tafel bestätigen dieß Verhältnifs; denn multiplicirt man die Anzahl der Schwingungen des zweiten Stabes bei seinen drei Längen mit 0,858, dem Verhältnifs seiner Dicke  $1^{\text{mm}},63$  zur Dicke

1<sup>mm</sup>,40 des *dritten* Stabes, so erhält man die Zahlen 194,9, 85,8 und 48,2, welche die Schwingungsmengen dieses *dritten* Stabes ausdrücken. Eben so erhält man, wenn man die Schwingungsmengen des *zweiten* Stabes multiplicirt mit 0,71, dem Verhältniß seiner Dicke zur Dicke des *vierten* Stabes, die Producte 161,3, 71 und 39,9, als berechnete Schwingungsmengen dieses *vierten* Stabes. In beiden Vergleichen weichen die berechneten Resultate sehr wenig von den beobachteten ab, und mithin findet sich das Gesetz der Dicken für diese beiden Reihen bestätigt. — Diefs ist aber nicht mehr der Fall bei dem Vergleich des *ersten* mit dem *zweiten* Stabe; die Schwingungsmengen dieses, multiplicirt respective mit 1,13, dem Verhältniß der Dicken dieser Stäbe, gehen für die Schwingungsmengen des *ersten* Stabes geringere Zahlen als wirklich beobachtet wurden, so dafs diese höher sind als die nach dem Gesetz berechneten. Ich habe in Bezug auf Dichte und Steife nur einen Unterschied zwischen diesem Stab und den übrigen gefunden, welcher möglicherweise die Ursache dieser Anomalie seyn könnte, nämlich, dafs der Unterschied zwischen den Dicken des *ersten* und *zweiten* derselbe ist wie der zwischen denen des *zweiten* und *dritten* und halb so grofs wie der zwischen den Dicken der *zweiten* und *vierten*. Bei diesen letzten Stäben ist aber die Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Beobachtung und Rechnung fast vollkommen.

Da der *zweite* Stab bei 0<sup>m</sup>,10 Länge 227,2 Schwingungen in der Sekunde machte, so versuchte ich, bei welcher Länge er, unter den gewöhnlichen Umständen, d. h. ohne Rotationsbewegung, schwingend, den Ton *a* einer Stimmgabel geben würde. Ich fand 52<sup>mm</sup> für diese Länge. Ausgehend davon, dafs der Stab bei 0<sup>m</sup>,10 Länge 227,2 Schwingungen machte, findet man nun aber mittelst des Gesetzes der Quadrate der Längen, dafs der Stab bei 52<sup>mm</sup>,0 Länge 841,4 einfache Schwingungen machen würde, wenn er den Ton *a* giebt. Diese Zahl entfernt sich nur um 38 Schwingungen von der Zahl 880, welche Hr. Savart für die dem-

demselben Ton entsprechenden Schwingungen gefunden hat. Dieser Unterschied muß davon hergeleitet werden, daß die Länge 0<sup>m</sup>,052, bei welcher die Schwingungen des Stabes den Ton  $\bar{a}$  erzeugten, nur bis auf einen Bruch vom Millimeter gemessen wurde, und die angewandte Stimmgabel nicht auf ihre Tonhöhe geprüft worden war. Ueberdies habe ich bemerkt, daß der Ton des bei 0<sup>m</sup>,052 Länge schwingenden Stabes seine Höhe merklich verändert, je nachdem man den Stab mehr oder weniger stark zwischen die Kupferstücke auf der Scheibe einspannt. Ich habe auch daher bei allen Versuchen das Ende eines jeden Stabes zwischen jene Kupferstücke mittelst der zu ihrem Zusammendrücken bestimmten Schrauben sehr stark eingeklemmt.

Mein Zweck bei Erwähnung dieses letzteren Versuchs ist nicht, für den Ton  $\bar{a}$  der Stimmgabel eine andere Zahl von Schwingungen zu geben als Savart gefunden hat; die von mir zur Erlangung dieser Zahl angewandten Verfahrensarten haben nicht den dazu erforderlichen Grad von Genauigkeit. Ich beabsichtigte hauptsächlich nur zu zeigen, daß bei dem Verfahren zur Sichtbarmachung der Schwingungen eines elastischen Stabes nur *ein* Bild bei jeder Doppelschwingung wahrnehmbar wird, und daß bei diesem Phänomen der Stab nur gesehen werden kann an den Punkten, wo seine absolute Geschwindigkeit ein Minimum, und der Eindruck, gemäß dem von Hrn. Plateau aufgestellten Princip, vollständiger ist. Diefs Princip, dessen Folgerungen speciell auf den Grundversuch des angewandten Verfahrens anwendbar ist, findet sich entwickelt in einem Bericht des Plateau über eine Abhandlung, die ich die Ehre hatte der Akademie zu überreichen.

Seit den obigen Versuchen über das Gesetz zwischen den Schwingungen und den Längen elastischer Stücke erhielt ich Kenntniß von einer Arbeit des Hrn. Baudrimont, in den *Ann. de chim. et de phys.* (1851) T. XXXII, betitelt: *Recherches expérimentales sur l'élasticité des corps hétérophones*. In diesem ersten Theil

einer ausgedehnteren Arbeit beabsichtigt Hr. Baudrimont die Prüfung des Gesetzes, daß die Schwingungsmengen elastischer Streifen (*lames*) sich umgekehrt wie die Quadrate der Länge verhalten.

Bei seinen Versuchen verglich er die successive Längen eines selben Streifens mit den Schwingungsmengen der verschiedenen Töne, welche der Streifen bei diesen Längen gab. So lieferte bei einer Versuchsreihe jeder der Streifen successive mehr Octaven des  $\bar{a}$  der Orchester. Bei allen verschiedenartigen Streifen, welche Hr. Baudrimont untersuchte, wurden die Quadrate der vibrierenden Längen des Streifens unter sich und mit den Schwingungsmengen des  $a$  der verschiedenen Octaven verglichen, und dabei bestätigte sich das Gesetz der Proportionalität dieser Mengen mit den umgekehrten Quadraten der Längen nicht genau. Diese Quadrate nahmen rascher ab als die Schwingungsmengen zunahmen. Jedoch verringerten sich die Unterschiede zwischen den Resultaten der Theorie und denen der Erfahrung in dem Maasse als die Streifen dünner waren. Der Sinn, in welchem sich diese Abweichungen aussprechen, zeigt, daß wenn man, wie es Hr. Baudrimont bei einer anderen Versuchsreihe gethan, den Streifen bei den Längen schwingen läßt, welche man von der Theorie zur Erlangung der successiven Octaven eines selben Tons vorgeschrieben werden, der Streifen immer einen weniger hohen Ton als den jeder Octave von  $\bar{a}$  giebt. Diefes Ergebniss zeigt, im Verein mit den übrigen, daß der Streifen bei seinen successiv verschiedenen Längen weniger Schwingungen macht als es die Theorie verlangt.

Hr. Baudrimont hat auch gefunden, daß das Gesetz der Dicken mangelhaft ist, d. h. daß zwei Streifen von gleicher Natur und gleicher Länge nicht Schwingungsmengen geben, die sich genau wie die Dicken verhalten.

Was auch, bei diesen Untersuchungen, die Ursachen seyn mögen, welche die beobachteten Resultate von den Gesetzen der Theorie zu entfernen scheinen, so ist es son-



derbar, daß solche Abweichungen sich bei meinen Versuchen nicht zeigten, diese vielmehr eine fast strenge Bestätigung der beiden Gesetze ergaben. Bei so verschiedenen Resultaten habe ich mich gefragt, ob nicht das von mir angewandte Verfahren irgend eine Fehlerquelle mit sich führe, welche diese Schwingungsmenge der Stäbe verändere und so die Verringerung nahe compensire, welche diese Menge erleiden müßte, wenn das Gesetz der Längen mangelhaft wäre, wie es die Versuche des Hrn. Baudrimont anzudeuten scheinen. Obgleich es schwierig seyn mag, sich von der Beschleunigung Rechenschaft zu geben, welche, in dieser Voraussetzung, die Stahlstäbe bei meinen Versuchen hätten erleiden müssen, so tritt doch ein Umstand hinzu, der einen Einwurf gegen dieses Verfahren bilden könnte. Das ist der Widerstand, welchen der Stab, vermöge seiner raschen Rotation, in der Luft erleiden muß, während er, wenn er in Ruhe vibriert, keinen andern Widerstand seitens der Luft erleidet als den aus der Oscillationsgeschwindigkeit entspringenden. Dieser Widerstand hat aber keinen merklichen Einfluß auf die Dauer der Schwingungen, denn die Höhe des Tons, welchen der Streifen im letztern Falle giebt, bleibt dieselbe für jede Amplitude, obgleich deren Vergrößerung die Oscillationsgeschwindigkeit des Streifens in jedem Punkte seiner Ausbiegung erhöht.

Wenn der Stab durch die rasche Bewegung der Scheibe herumgeführt wird, so erleidet er seitens der, als unbeweglich gedachten, Luft einen steten Widerstand, der, in der Rotationsebene, winkelrecht gegen das Längen-Element der Oberfläche des Stabes liegt und in seiner Richtung der Rotation der Scheibe entgegengesetzt ist. Die Stärke dieses Drucks hängt ab von dem Abstand des Elements von der Rotationsaxe, von der absoluten Winkelgeschwindigkeit, welche die Summe oder Differenz der Rotations- und der Vibrations-Winkelgeschwindigkeit ist, und endlich von der Intensität des Drucks, ausgedrückt in Function der Geschwindigkeit. Angenommen dieser Druck sey proportio-

nal dem Quadrat der Geschwindigkeit, bezeichne  $x$  den Abstand des Elements von der Rotationsaxe,  $e$  die Breite desselben oder den Durchmesser des Stabes,  $V$  die absolute Winkelgeschwindigkeit in irgend einen Augenblick einer Oscillation, und  $K$  einen von der Geschwindigkeit unabhängigen Coëfficienten; dann hat der Druck auf das Flächen-Element  $edx$  zum Werth:  $KeV^2x^2dx$ . Der totale Druck bei dieser Phase auf die Gesammtheit des gegen die Bewegung gerichteten Theils der Oberfläche des Stabes hat zum Ausdruck  $\frac{KV^2el^3}{3}$ , wo  $l$  die Länge des Stabes, welche gleich ist der Summe der Längen  $dx$  der Elemente, welche diesen Theil des Stabes bilden. Der Druck der Luft nimmt also mit der Länge des Stabes rasch zu.

Man beweist in der Mechanik, dafs bei kleinen Pendelschwingungen die Dauer einer aufsteigenden Halbschwingung um eben so viel durch den Widerstand der Luft verringert wird, als die Dauer der vorangehenden absteigenden Halbschwingung vergrößert worden war, so dafs die ganze Schwingung in derselben Zeit erfolgt, wie wenn sie im Vacuo geschähe. Bei der doppelten Bewegung, der Oscillation und Rotation, des Stabes übt die Luft ihren Widerstand nicht unter denselben Umständen aus wie beim Pendel. Der aus der Rotationsgeschwindigkeit entspringende Theil des Luftdrucks wirkt offenbar im Sinn der Oscillation des Stabes, sobald diese, übrigens ihrer Natur nach isochrone, Oscillation im umgekehrten Sinn der Rotation geschieht, und andererseits der Oscillation entgegen, wenn diese rückgängig ist. Es ist auch zu bemerken, dafs der Widerstand der Luft den Stab aus seiner normalen Ruhelinie abzulenken sucht, so dafs, wenn der Stab eine Rotationsbewegung ohne Oscillationen besäße, er von dieser Linie durch den Luftdruck in einem der Rotation entgegengesetzten Sinne abgelenkt werden würde.

Ein fernerer Unterschied zwischen dem Zustand des Pendels und dem des in doppelter Bewegung begriffenen Stabes besteht darin, dafs das Pendel, welches überdies

eine bedeutende Masse hat, in einem fast ruhenden Mittel oscillirt, während der Stab in eine Luftschicht getaucht ist, die, wegen ihrer Nähe an der Scheibe, mehr oder weniger Theil nehmen muß an der raschen Rotation dieser letzteren.

Um allen Zweifel an dem Einfluß des Luftwiderstandes zu beseitigen, griff ich zum Versuch und variierte die Rotationsgeschwindigkeit zwischen sehr ausgedehnten Grenzen. Wenn, wie man voraussetzt, der Widerstand der Luft einen wahrnehmbaren Einfluß auf die Schwingungen des Stabes ausübt, so muß er sich dadurch verrathen, daß die Anzahl derselben in einer gegebenen Zeit je nach der Rotationsgeschwindigkeit des Stabes eine verschiedene wird.

Um die Umstände für die störende Wirkung des Luftwiderstandes am günstigsten zu machen, wandte ich einen Stab von 1<sup>mm</sup>,91 Durchmesser an, der in seinem schwingenden Theil 0<sup>m</sup>,18 lang war, so daß er dem Luftwiderstand eine ziemlich ausgedehnte Fläche darbot. Bei jedem Versuch ist die Winkelgeschwindigkeit, wie gewöhnlich, ausgedrückt durch den Kreisbogen, den ein Punkt der Ebene der Scheibe im Abstand eines Meters von der Rotationsaxe innerhalb einer Sekunde beschreibt. Folgendes sind die Resultate von sechs Versuchen:

	Winkelgeschwindigkeit.	Doppelschwingungen in 1".
1	33 <sup>mm</sup> ,90	44,9
2	26 ,18	43,7
3	25 ,61	44,8
4	24 ,67	43,2
5	19 ,31	43,0
6	18 ,85	45,0
		Mittel 44,1

Obgleich die Winkelgeschwindigkeit bei dem ersten Versuch fast doppelt so groß ist als bei dem letzten, so sind doch die Schwingungsmengen pro Sekunde dieselben. Die geringen Unterschiede, die sich bei den übrigen Zahlen darbieten, müssen hauptsächlich den Beobachtungsfeh-

lern zugeschrieben werden. Sie erklären sich, wenn man erwägt, daß, bei dem angewandten Verfahren, nur eine ganze Zahl von Schwingungen während einer Umdrehung der Scheibe gezählt werden kann. So zählte ich bei dem ersten Versuch acht Stabbilder und bei dem sechsten funfzehn. Wäre eine gebrochene Zahl von Schwingungen während der Dauer einer Rotation vollzogen, so würde man sie nicht haben wahrnehmen können, weil die erste Schwingung wieder am Punkt des Anschlags beginnt, gegen welchen das Ende des Stabes schlägt. Es ist auch zweckmäßig die Rotationsgeschwindigkeit so einzurichten, daß zwischen dem Stabbild am Anschlagspunkt und dem folgenden Bilde ein Winkel von gleicher Gröfse bleibt wie der zwischen dem letzten Bilde und dem Bilde am Anschlagspunkt, vor allem, wenn, bei einer Winkelgeschwindigkeit von 20 bis 30 Metern, diese Bilder weit aus einander liegen.

Da die Unterschiede, welche die bei den sechs Versuchen beobachteten Zahlen darbieten, in keinem bestimmten Sinn mit der Rotationsgeschwindigkeit des Stabes fortschreiten, so darf man aus diesen Versuchen schließeln, daß, bei dem angewandten Verfahren, der aus der Rotation entspringende Widerstand der Luft in keiner merkbaren Weise auf die Schwingungsmengen elastischer Stäbe einwirkt.

Die Resultate des letzten Versuchs beweisen aufs Neue das Gesetz des Isochronismus der Schwingungen; denn bei jedem Versuch änderte sich nothwendig die Schwingungsweite mit der Stärke des Stofses, den der Stab vom Anschlagstück empfangt; da nun aber diese Stärke zunahm mit der Rotationsgeschwindigkeit und dennoch die Anzahl der Schwingungen so gut wie gleich blieb, so ist, bei Gleichheit aller übrigen Umstände, die Dauer einer Schwingung unabhängig von ihrer Amplitude.

Nachdem der Zweifel wegen des Einflusses des Luftwiderstandes auf die Anzahl der Schwingungen des rotirenden Stabes gehoben ist, kann diese Ursache nicht mehr

angerufen werden, um den Unterschied zwischen den Resultaten des Hrn. Baudrimont und denen meiner Versuche zu erklären. Zwar hat dieser Beobachter, unter den Ursachen, welche die Höhe des von dem Streifen erzeugten Tons merklich abändern können, den Druck bezeichnet, mit welchem das Ende des Streifens eingeklemmt ist. Ich habe als ich den Stab von 52<sup>mm</sup>,0 Länge schwingen liefs, um den Ton  $\bar{a}$  zu erhalten, gleichfalls die Wirkung dieser Fehlerquelle bemerkt, welche dahin geht, den Ton mit Zunahme des Drucks zu erhöhen. Nähme man an, dafs der Effect einer gleichen Druckzunahme auch merklich wäre bei den Schwingungen der Stäbe von 10 bis 20 Centimeter Länge, welche bei den ersten Versuchen schwingen und tiefe Töne gaben, deren Veränderungen in der Höhe ziemlich schwierig wahrzunehmen gewesen waren, so scheint es sonderbar, dafs bei diesen Versuchen eine durch den Druck bewirkte Erhöhung genau compensirt seyn sollte von den Abweichungen, die aus der Mangelhaftigkeit des Gesetzes der Elasticität der Stäbe entspringen.

Uebrigens suchte ich schon aus Grundsatz jede Anomalie zu entfernen, die aus der Art der Uebertragung der Schwingungsbewegung der Stäbe zu dem ihre Enden einklemmenden Kupferstücken entspringen konnte. Diese Stücke waren auf der Holzscheibe wohl festgeschraubt, und vermöge ihrer Dimensionen hinreichend stark; jedes derselben hatte auf der Innenseite eine tiefe Furche, und in diesen Furchen wurde das Ende der Stäbe durch die zum Zusammendrücken der Stücke bestimmten Schrauben vollkommen eingeklemmt. Die Scheibe besafs durch ihre Gröfse und Dicke, so wie durch die Beschaffenheit des Holzes, eine hinreichende Masse, um gegen die Schwingungsbewegung der Stäbe unempfindlich zu seyn:

Die Combination der Vibrations- und der Rotationsbewegung würde bei mehreren Untersuchungen Anwendung finden, so z. B. in der Industrie zur Bestimmung der Steife eines Metallstabes. Bestimmte man nämlich bei einem grossen Stabe (*verge*) die Anzahl  $n$  seiner Schwingungen in ei-

ner Sekunde in ähnlicher Weise wie bei den dünnen Stäben (*aiguilles*), und setzte den Werth von  $n$  in die allgemeine Formel, so würde man, da alle übrigen Factoren bekannt sind, für die Steife (*rigidité*) des Stabes erhalten:

$$r = \frac{n^2 l^4 d}{e^3 g}.$$

Das auf die Combination der beiden Bewegungen gegründete Verfahren würde ferner erlauben, die Schwingungen gespannter Saiten sichtbar zu machen. Das Mittel, welches sich am einfachsten darzubieten scheint, um einer Saite gleichzeitig die beiden Bewegungen mitzutheilen, bestünde darin, daß man sie mit dem einen Ende an einen festen Punkt aufhinge und an dem andern mit einem Gewichte beschwerte. Liefse man sie nun pendeln, während man sie zugleich in Schwingungen versetzte, so müßte man diese Schwingungen während eines Pendelganges durch isolirte Bilder der Saite wahrnehmen können. Da indess die Maximum-Geschwindigkeit einer Pendelschwingung insgesamt sehr schwach ist gegen die der Querschwingungen, so würde die Wahrnehmung deutlicher Bilder nur bei einem gewöhnlichen Faden stattfinden, der ziemlich rasch und bei schwacher Spannung vibrirte.

Um die Querschwingungen einer Saite gehörig zu untersuchen, wäre die beste Einrichtung die: daß man auf einer lothrechten Rotationsaxe den Kasten eines gewöhnlichen Sonometers horizontal gut befestigte, und zwar so, daß die lineare Verlängerung der Axe durch den Punkt ginge, wo die auf dem Sonometer ausgespannte Saite auf dem Stege liegt. Die Querschwingungen der Saite wären dann bei jeder Umdrehung durch ein Anschlagsstück hervorzurufen, in ähnlicher Weise wie bei den elastischen Stäben.

Für gewisse Versuche würde es vortheilhaft seyn, die Saite durch Reibung an ein kleines winkelrecht gegen sie auf dem Sonometer angebrachtes Holzrad in Schwingung zu versetzen, ganz in ähnlicher Weise wie bei der Leier. Die Bewegung des Rades könnte begreiflicher Weise mittelst

eines sehr einfachen Räderwerks durch die Rotation des Sonometers selbst bewerkstelligt werden. Bei dieser Einrichtung könnte man die Saite an einem Theil ihrer Länge schwingen lassen, welcher gesondert wäre durch einen Steg von dem andern, wo das Rad seine Reibung ausübte.

Obgleich ich nach diesem Verfahren keinen Versuch angestellt habe, so ist es doch nicht zweifelhaft, daß er gelingen werde. Die folgende Thatsache wird es unwiderleglich beweisen, wenn nicht schon die ähnlichen Versuche mit elastischen Stäben dies voraussehen ließen. Wenn man einer Geige, während eine ihrer Saiten schwingt, eine rasche Translationsbewegung mit der Hand ertheilt, so sieht man deutlich isolirte Bilder der Saite.

Auch ohne Translationsbewegung sieht man die gesonderten Bilder einer schwingenden Saite sehr gut, wenn man sie durch Reflexion in einem Spiegel betrachtet, dem die Hand eine schwingende Bewegung ertheilt.

Endlich könnte dasselbe Verfahren auch angewandt werden, um die Schwingungen einer zugleich in Translations- und Vibrationsbewegung begriffenen Platte sichtbar zu machen. Liefse man nämlich eine Metallscheibe um einen ihrer Durchmesser rasch rotiren, während sie winkelrecht gegen ihre Oberfläche vibriert, so würde man gewiß Bilder von dem kreisrunden Umriss dieser Scheibe erblicken und zwar nach den Meridianen der durch die Rotationsbewegung beschriebenen Kugel.

# IX. *Ueber die isomerischen Modificationen des Schwefelantimons; von Heinrich Rose.*

Die isomerischen Modificationen einer Verbindung sind um so lehrreicher, je einfacher dieselbe zusammengesetzt ist. Man kann hierbei die Frage aufwerfen, ob die ungleiche Anordnung der einfachen Atome die Ursache der Isomerie sey, oder ein verschiedener allotropischer Zustand der Elemente selbst, aus denen der zusammengesetzte Körper besteht.

Unter den Schwefelmetallen finden sich mehrere, von denen man, je nachdem sie auf nassem oder trockenem Wege erzeugt worden sind, isomerische Modificationen schon lange kennt. Am bekanntesten unter ihnen sind die Schwefelverbindungen des Quecksilbers und des Antimons, die durch ihre ganz verschiedene Färbung sich auszeichnen. Von beiden Metallen kennt man bekanntlich schwarze und rothe Schwefelverbindungen von derselben Zusammensetzung, und es ist auch bei ihnen bisweilen geglückt, die eine Modification in die andere zu verwandeln.

Schon seit längerer Zeit habe ich Bemerkungen über die Umwandlung des Schwefelantimons in isomerische Modificationen zu sammeln Gelegenheit gehabt, die mir zum Theil neu, zum Theil bisher wenig beachtet zu seyn scheinen.

## I. Schwarzes Schwefelantimon.

Dasselbe kommt bekanntlich in der Natur krystallisirt als Grauspiesglanzerz (Antimonglanz) vor. Aber von derselben Beschaffenheit erhält man es auch, wie man weiß, wenn Schwefel mit Antimon zusammengeschmolzen, und die geschmolzene Masse langsam erkaltet wird.

Uebereinstimmend mit den bisherigen Angaben wurde das specifische Gewicht von einem durch Zusammenschmelzen erhaltenen Schwefelantimon, das frei von fremden Schwe-



felmetallen war, und das zu allen den folgenden Versuchen benutzt wurde, zu 4,614 gefunden. Zu einem sehr feinen Pulver gerieben, war die Dichtigkeit desselben 4,641 (Temperatur 16° C., bei welcher auch alle andere Dichtigkeits-Bestimmungen, deren weiter unten Erwähnung gethan wird, angestellt wurden).

Das krystallisirte Schwefelantimon giebt fein zerrieben kein krystallinisches Pulver. Bei der mikroskopischen Betrachtung erscheint dasselbe glasartig. Das Pulver, selbst das feinste, ist schwarz. Auch der Strich der Stücke auf unglasirtem weißen Porcellan ist vollkommen schwarz, ohne den mindesten Stich ins Bräune oder ins Rothe.

Das krystallisirte Schwefelantimon ist ein Leiter der Elektrizität, auch als feines Pulver. Zu diesen und allen folgenden Untersuchungen wurde das Bennet'sche Goldblatt-Elektrometer angewandt. Um die Leitungsfähigkeit des Pulvers zu untersuchen, wandte ich die Methode an, deren sich Hr. Rieffs seit längerer Zeit bedient <sup>1)</sup>. Das Pulver wird bei dieser Untersuchung in eine Glasröhre gebracht, welche an einem Ende durch eine angeschraubte Messingplatte verschlossen ist. Durch das andere Ende geht vermittelst eines Korkes eine stählerne Nadel, welche zu verschiedenen Tiefen in das Pulver gesenkt wird, das in der Glasröhre leicht erhitzt werden kann, um aus demselben alles Wasser zu entfernen, und um das Glas selbst weniger leitend zu erhalten.

## II. Rothcs Schwefelantimon.

1) *Rothcs Schwefelantimon, durch schnelles Abkühlen des geschmolzenen schwarzen erhalten.* Fuchs <sup>1)</sup> hat angegeben, dafs wenn man krystallisirtes Schwefelantimon in einem dünnen Glase schmelzt, eine Zeitlang im Flufs erhält, und dann so schnell wie möglich sammt dem Glase in eiskaltes Wasser wirft, man amorphes Schwefelantimon von röthlich-braunem Pulver erhalte. Durchs Schmelzen

1) Pogg. Ann. Bd. 64, S. 53.

2) Pogg. Ann. Bd. 31, S. 578.

und langsames Erkalten kann man dasselbe wieder in krystallisirtes schwarzes Schwefelantimon verwandeln. Das specifische Gew. dieses Schwefelantimons ist nach Fuchs 4,15. Er giebt nicht an, ob er zur Bestimmung der Dichtigkeit des porösen Schwefelmetalls dasselbe zuvor gepulvert habe, bemerkt aber, dafs die Umwandlung des krystallisirten Schwefelantimons in das amorphe nicht immer gelingt. Ich kann dies bestätigen, denn unter sechs oder sieben Versuchen, diese Modification des Schwefelantimons in einer einigermafsen gröfseren Menge zu erhalten, gelang nur einer vollkommen.

Ungefähr ein viertel Pfund vom krystallisirten Schwefelantimon in grob gepulverten Stücken wurde in einer Röhre von dünnem aber schwer schmelzbarem Glase in einem Ofen von Eisenblech zum Schmelzen gebracht, während getrocknetes Kohlensäuregas darüber geleitet wurde. Die Hitze wurde so stark gesteigert, als es das Glas, das ganz weich wurde, nur gestatten wollte, ohne zu schmelzen. Nachdem das Schwefelmetall längere Zeit dieser Hitze ausgesetzt worden, wurde es mit der Glasröhre in ein großes Gefäfs mit kaltem Wasser gefüllt geworfen, in welchem es unter heftiger Explosion zerplatzte, und das Glas in Splitter verwandelt wurde. Das Schwefelantimon erstarrte zu einem grobkörnigen schwarzen Pulver, das sich mit den Glassplittern mengte. Ein Theil des Schwefelantimons war feiner zertheilt, und schwamm als ein rothbraunes Pulver auf der Oberfläche des Wassers, doch war die Menge desselben nur gering. Während des Eintragens des Schwefelantimons in Wasser oder unmittelbar darauf, verbreitete sich ein, wiewohl schwacher Geruch nach Schwefelwasserstoff.

Das grobkörnige schwarze Pulver des schnell abgekühlten Schwefelantimons zeigte bei der Besichtigung vermittelst der Lupe starken Glasglanz und gar keine krystallinische Structur. Zu Pulver gerieben wurde es rothbraun, und es wurde um so röther, je feiner das Pulver war. Die Farbe war der eines auf nassem Wege bereiteten Kermes

minerale sehr ähnlich, nur war sie vielleicht noch röther. Es ist bekannt, daß der Kermes wesentlich nur aus Schwefelantimon besteht. — Das Pulver zeigte unter dem Mikroskop eine glasartige, durchaus nicht krystallinische Structur. — Alle Theile des Schwefelantimons hatten gepulvert dieselbe Farbe. Wurde ein Korn des Schwefelmetalls auf unglasirtem Porcellan gerieben, so zeigte sich auch hier ein rother oder vielmehr rothbrauner Strich.

Das specifische Gewicht des groben schwarzen Pulvers war 4,167, also fast übereinstimmend mit der Angabe von Fuchs. Diese Dichtigkeitsbestimmung ist indessen nicht ganz vollkommen genau, denn das schwarze Pulver war nach seiner Darstellung mit Glassplittern innig gemengt. Es wurde zwar mit großer Sorgfalt davon gereinigt; als es aber zu einem feinen Pulver gerieben war, konnte durch das Mikroskop darin noch eine Einnengung von Glas bemerkt werden.

Die Körner des groben schwarzen Pulvers waren, durch die Lupe besichtigt, porös; das feine rothe Pulver hatte daher ein höheres specifisches Gewicht, als die Körner. Es betrug bei diesem 4,202.

Als 1,071 Grm. von diesem Pulver durchs Erhitzen in Chlorwasserstoffsäure aufgelöst wurden, blieben 0,026 Grm. Glaspulver ungelöst. Man kann also im fein geriebenen Pulver 2,42 Proc. Glaspulver annehmen. Die Glasröhre, in welcher das Schwefelantimon geschmolzen worden, bestand aus böhmischem Glase, dessen specifisches Gewicht gewöhnlich 2,4 ist. Wenn man diess berücksichtigt, so wird dadurch das specifische Gewicht des rothen Pulvers vom Schwefelantimon bis zu 4,28 erhöht.

Das Gemenge des rothen Schwefelantimons mit Glas konnte indessen natürlich kein vollkommen gleichförmiges seyn. Bei Behandlung einer andern ungepulverten Menge desselben wurden daraus 2,89 Proc. Glas abgeschieden.

Fuchs giebt an, daß das amorphe Schwefelantimon mit rothem Pulver merklich härter sey, als das krystallisirte schwarze, und daß es letzteres auf der vollkommenen

Spaltungsfläche ziemlich stark ritzt. Diese Bemerkung ist richtig. Wenn man die Körner des amorphen Schwefelantimons auf eine glatte Spaltungsfläche von krystallisirtem schwarzen Schwefelantimon oder von Steinsalz, das eine ähnliche Härte besitzt, legt, und sie, mit den Fingern andrückend, auf derselben hin und her schiebt, so macht man in der Spaltungsfläche sehr deutliche Schrammen. Auf einer glatten Spaltungsfläche von Kalkspath kann man dieselben nicht hervorbringen, drückt man aber die Körper des amorphen Schwefelantimons zwischen zwei glatte Kalkspathflächen, so kann man, wenn auch nur schwache, doch deutliche Eindrücke auf der Kalkspathfläche hervorbringen. Es ist daher das amorphe Schwefelantimon noch etwas härter als Kalkspath.

Da beim Eintragen des geschmolzenen Schwefelantimons in Wasser sich ein, wiewohl schwacher Geruch, nach Schwefelwasserstoff verbreitete, so kann die Frage aufgeworfen werden, ob das rothe Schwefelantimon von dem schwarzen sich nicht durch einen, wenn auch geringen Gehalt an Antimonoxyd unterscheide, und ob es nicht eine Art von Vitrum Antimonii sey. Fuchs hat bei der Darstellung des rothen Schwefelantimons es versäumt, diese Frage zu beantworten.

Die Methoden, die man in den Lehrbüchern der Chemie angiebt, um einen sehr kleinen Gehalt von Antimonoxyd im Schwefelantimon zu entdecken, sind zum Theil sehr unsicher. Man schlägt vor, das fein gepulverte Schwefelantimon mit Weinstein und Wasser oder mit einer Auflösung von Weinsteinsäure zu behandeln. Es soll dadurch das Schwefelantimon nicht angegriffen, aber das Oxyd aufgelöst werden, dessen Gegenwart dann leicht in der filtrirten Flüssigkeit vermittelt Schwefelwasserstoffwassers zu erkennen ist.

Wird reines Schwefelantimon im fein gepulverten Zustande, sowohl das schwarze, als auch das rothe auf diese Weise mit Weinstein und Wasser oder mit Weinsteinsäure in der Kälte behandelt, so wird es fast gar nicht an-

gegriffen; durchs Kochen erfolgt eine höchst unbedeutende Zersetzung, und die filtrirte Lösung enthält etwas, freilich kaum mehr als eine Spur Antimonoxyd aufgelöst, welche darin durch Schwefelwasserstoffwasser zu entdecken ist. Weinstein und Wasser greifen beim Kochen das Schwefelantimon etwas mehr an, als eine Auflösung von Weinsteinsäure.

Behandelt man eine geschmolzene Verbindung von Schwefelantimon mit Antimonoxyd, die nur wenig Antimonoxyd enthält, nach feiner Pulverisirung auf gleiche Weise, so wird dieselbe in der Kälte nur wenig angegriffen, wohl aber durch das Kochen, besonders durch den Weinstein, weniger durch die Weinsteinsäure, so dafs man in der filtrirten Flüssigkeit mittelst Schwefelwasserstoffwassers einen reichlichen Niederschlag von Schwefelantimon erhält. Aber diefs ist nur der Fall, wenn die Verbindung von Schwefelantimon mit Oxyd nach dem Erkalten sehr langsam erkaltet. Sie ist dann krystallinisch und von schwarzer Farbe. Erkaltet man aber dieselbe Verbindung nach dem Schmelzen sehr schnell, giefst man sie z. B. in kaltes Wasser, so bildet sie dann erst ein wahres Vitrum Antimonii, ist glasartig, und giebt durchs Pulvern ein rothes Pulver. Wird dieses mit Weinstein und Wasser, oder mit einer Auflösung von Weinsteinsäure in der Kälte behandelt, oder damit gekocht, so wird kein Oxyd daraus aufgelöst, und die Verbindung widersteht der Säure fast noch mehr als reines geschmolzenes und gepulvertes Schwefelantimon. — Nur wenn die Verbindung mehr Oxyd enthält, so wird dasselbe daraus leicht durch Weinsteinsäure, aber besser noch durch Weinstein und Wasser schon in der Kälte, mehr aber noch durchs Kochen aufgelöst, und diefs geschieht sowohl wenn die Verbindung von Schwefelantimon und Antimonoxyd langsam, als auch wenn sie schnell erkaltet ist.

Man kann einen Oxydgehalt, selbst einen sehr geringen, im Schwefelantimon, durch die Entwicklung von schweflichter Säure entdecken wenn man dasselbe mit etwas

Schwefel schmelzt. Aber auch bei diesem Versuche muß man mit Vorsicht verfahren, und selbst dann kann man oft nicht ein recht entscheidendes Resultat erhalten, besonders wenn der Oxydgehalt sehr gering ist. Schmelzt man in einem kleinen Reagensglase, so kann die darin enthaltene Luft die Erzeugung einer geringen Menge von schweflichter Säure bedingen. Ich schmelzte das Gemenge in einer Atmosphäre von trockenem Kohlensäuregas, das ich darüber strömen liefs, und leitete die Gase durch Wasser. Dasselbe roch dann deutlich nach schweflichter Säure, wenn auch nur eine geringe Menge von Oxyd im Schwefelmetall enthalten war. Aber mit dieser Probe mußte ich mich begnügen, denn untersuchte ich das Wasser vermittelt Zinnchlorür, oder setzte ich zu demselben etwas Chlorwasserstoffsäure, löste darin Zink auf und leitete das sich entwickelnde Wasserstoffgas in eine Auflösung von essigsauerm Bleioxyd, — eine Probe auf sehr geringe Mengen von schweflichter Säure, welche bekanntlich von Fordos und Gélis angegeben ist —, so bekam ich Andeutungen von schweflichter Säure, auch wenn reines Schwefelantimon mit Schwefel zusammengeschmolzen wurde. Schwefelantimon ist bekanntlich etwas flüchtig; die Dämpfe desselben bringen mit denen des Schwefels und mit der Kohlensäure im Wasser Producte hervor, die sich gegen die feinsten Reagentien wie höchst geringe Mengen von schweflichter Säure verhalten.

Um mit großer Sicherheit daher die Abwesenheit von Antimonoxyd in der rothen Modification des Schwefelantimons beweisen zu können, mußte ein anderer Weg eingeschlagen werden. Es wurde dasselbe nach dem Trocknen bei  $100^{\circ}$  C. in einer Atmosphäre von trockenem Wasserstoffgase so lange erhitzt, bis es vollständig in metallisches Antimon verwandelt worden war. Der Versuch wurde mit großer Vorsicht angestellt, aber es konnte hierbei keine Spur von gebildetem Wasser wahrgenommen werden. Ein kleines Chlorcalciumrohr hatte um 0,004 Grm. zugenommen, als 1,900 Grm. des rothen Schwefelantimons auf die beschrie-

schriebene Weise in metallisches Antimon verwandelt worden. Es ist sehr zweifelhaft, ob diese Gewichtszunahme von einem höchst geringen Oxydgehalte im Schwefelantimon herrührte, oder nicht vielmehr weit wahrscheinlicher von einem Wassergehalte, der dem Strome des Wasserstoffgases, ungeachtet des Trocknens desselben, gefolgt war. — Das erhaltene metallische Antimon hinterließ nach der Auflösung in Königswasser 0,055 Grm. Glas ungelöst, oder 2,89 Proc. vom angewandten Schwefelantimon.

Das rothe Schwefelantimon ist demnach wie das schwarze zusammengesetzt.

Da bei der Erzeugung des rothen Schwefelantimons sich eine geringe Menge von Schwefelwasserstoff, und daher auch etwas Antimonoxyd gebildet hatte, so mußte letzteres bei seiner Bildung in der großen Menge des angewandten Wassers aufgelöst geblieben seyn.

Ich habe schon oben erwähnt, daß die Darstellung des rothen Schwefelantimons aus dem schwarzen nicht immer gelingt, wenn auch dabei so viel wie möglich auf gleiche Weise verfahren wird. Ich erhielt dadurch oft Producte, die offenbar Mengungen von rothem und schwarzem Schwefelmetall waren, und die an einigen Stellen einen braunrothen, an anderen einen schwarzen Strich auf unglasirtem Porcellan zeigten; das Pulver des Ganzen war aber immer schwarz. Das specifische Gewicht eines solchen im fein pulverförmigen Zustande wurde 4,467 gefunden.

Es wurden besonders mehrere Versuche angestellt, um das amorphe Schwefelantimon ohne eingemengtes Glas zu erhalten, indem das schwarze Schwefelmetall längere Zeit in einem hessischen Tiegel bei sehr starker Hitze geschmolzen, und dann in einem möglichst dünnen Strahle in eine große Menge von kaltem Wasser ausgegossen wurde. Aber immer erhielt ich hierdurch einen sehr grobkörniges Schwefelmetall, das an allen Stellen ein schwarzen Strich auf unglasirtem Porcellan zeigte, und ein schwarzes Pulver gab. Das specifische Gewicht eines solchen feinen Pulvers war 4,562. — Ich erhielt dieselben Resultate, wenn ich

kleinere oder gröfsere Mengen vom schwarzen Schwefelantimon zum Versuch anwandte.

Die Umwandlung des schwarzen Schwefelantimons in die rothe Modification durch schnelle Abkühlung, kann am deutlichsten durch folgenden Versuch wahrgenommen werden: Man schmelze in einem Stück einer Barometerröhre ein Stückchen schwarzen Schwefelantimons, während man einen schnellen Strom von gut getrocknetem Kohlensäuregas darüber leitet. Da das Schwefelantimon in einem geringen Grade flüchtig ist, so setzt sich der Dampf desselben, von dem Gase schnell abgekühlt und fortgerissen, in einer geringen Entfernung von der schmelzenden Masse an den Wänden der Glasröhre ab, und bildet ein Sublimat von schön zinnoberrother Farbe. Man kann auf keine andere Weise die rothe Farbe der amorphen Modification so deutlich erkennen, wie auf diese, obgleich die Menge des erhaltenen Sublimats immer äufserst unbedeutend ist, wenn auch der Versuch lange fortgesetzt wird.

Das amorphe Schwefelantimon ist sowohl als grobes schwarzes, sowie auch als feines rothes Pulver ein Nichtleiter der Elektrizität. Schon Riefs <sup>1)</sup> hatte gefunden, dafs Schwefelantimon durch Schmelzung zum Halbleiter und zum Isolator werden könne, und er hat mir Proben von Schwefelantimon mitgetheilt, das er im geschmolzenen Zustand in Formen gegossen hatte, in denen die Abkühlung sehr schnell vor sich ging; die kleinen sehr spröden Stängelchen zeigen eine glasartige Hülle, welche isolirt, während der Kern von körniger oder krystallinischer Structur ein Leiter oder Halbleiter ist. G. Karsten hat diese Beobachtungen bestätigt.

Es ist indessen schwer zu vermeiden, dafs beim Schmelzen beim Zutritt der Luft das Schwefelantimon sich nicht etwas oxydire, besonders wenn das Schmelzen lange fortgesetzt wird. In der That zeigten auch die Stängelchen, die ich durch Hrn. Riefs erhalten, einen geringen Gehalt von Oxyd. Bei der Reduction von 1,824 Grm. derselben

1) Pogg. Ann. Bd. 71, S. 241.



vermitteltst Wasserstoffgases, wurden 0,027 Grm. Wasser erhalten, dessen Sauerstoffgehalt 8,03 Proc. Antimonoxyd entspricht. Es ist dieses Schwefelantimon daher schon eine Art von Vitrum Antimonii, das, wie ich später zeigen werde, im geschmolzenen und abgekühlten Zustand, immer ein Nichtleiter der Elektrizität ist.

Die Arten des Schwefelantimons, welche zwar nach dem Schmelzen schnell abgekühlt, aber nur sehr unvollständig in die amorphe Modification sich verwandelt hatten, und die eine Dichtigkeit von 4,467 und 4,562 zeigten, waren Halbleiter der Elektrizität. Die Körner zeigten mir keine krystallinische Structur, und waren wohl mit einer sehr dünnen Haut der amorphen Modification umzogen.

Bei dem Schwefelantimon finden wir also zwei ähnliche isomerische Modificationen wie beim Schwefelquecksilber. Bei diesem aber ist die schwarze Modification amorph, aber ein Leiter der Elektrizität, während die rothe krystallisirt und ein Isolator ist.

Die rothe Modification des Schwefelantimons kann sehr leicht wiederum in die schwarze verwandelt werden.

Es gelingt dieß schon durch eine geringe Temperatur-Erhöhung, die lange nicht bis zum Schmelzen zu gehen braucht. Sie ist ziemlich genau die von 200° C.; durch diese wird das rothe Pulver vollkommen schwarz, und behält auch diese Farbe nach dem Erkalten.

Dieses schwarze Pulver unter dem Mikroskop besichtigt, erschien nun krystallinisch, aber, wie das rothe, mit etwas Glas gemengt. Es war in einen Leiter der Elektrizität verwandelt worden, und ähnlich dem gewöhnlichen schwarzen Schwefelantimon, dem es nun auch in jeder Beziehung vollkommen glich. Das specifische Gewicht war 4,559. Nimmt man aber in diesem Pulver eine ähnliche Menge von eingemengtem Glase an, wie in dem rothen, also 2,42 Proc. von einem specifischen Gewichte von 2,4, so erhöht sich die Dichtigkeit des schwarzen Pulvers bis zu 4,66, welche ganz mit der des krystallisirten schwarzen Schwefelantimons übereinstimmt.

Es wurde versucht, aber mit vergeblichem Erfolge, das rothe Pulver in das schwarze durch eine etwas niedrigere Temperatur als  $200^{\circ}$  C. zu verwandeln. Durch sehr langes und anhaltendes Kochen mit Wasser behielt das Pulver seine rothe Farbe. Es blieb dabei sehr lange in demselben suspendirt, und senkte sich äusserst langsam. Auch wenn es mehrere Tage hindurch ununterbrochen im trocknen Zustand bei  $100^{\circ}$  C. erwärmt wurde, so veränderte es sich nicht. Die Temperatur konnte selbst bis zu  $180^{\circ}$  C. gesteigert werden, ohne dass der Uebergang in die krystalinische Modification erfolgte. Das Pulver färbte sich zwar dadurch sehr dunkel, fast schwarz; aber nach dem Erkalten war es wieder so roth wie zuvor.

Der Uebergang in die schwarze Modification erfolgt auch durch den Einfluss von Säuren. Uebergießt man das rothe Pulver in der Kälte mit mässig starker Chlorwasserstoffsäure, und lässt das Ganze einige Zeit hindurch stehen, so löst sich sehr wenig von demselben auf, denn es entwickelt sich kaum ein Geruch nach Schwefelwasserstoff, aber es färbt sich nach und nach dunkler, und endlich schwarz. Schneller geschieht dieß durchs Erhitzen, aber dadurch löst sich das rothe Pulver endlich ganz in der Säure unter Schwefelwasserstoffentwicklung auf.

Mit concentrirter Schwefelsäure übergossen, wird das rothe Pulver nicht schwarz. Es entwickelt sich schon in der Kälte schweflichte Säure, und es fängt an, sich in schwefelsaures Antimonoxyd zu verwandeln.

Wird das rothe Pulver mit so stark verdünnter Chlorwasserstoffsäure gekocht, dass nur wenig von demselben aufgelöst wird, so erfolgt die Umwandlung in die schwarze Modification schon nach einer Viertelstunde.

Weit schwieriger geht diese Umwandlung von statten, wenn man das rothe Pulver mit verdünnter Schwefelsäure kocht. Man muß in diesem Falle das Kochen weit länger fortsetzen, ehe es schwarz wird, und dennoch ist die Umwandlung keine vollkommene. Die verdünnte Schwefel-

säure löst durch das lange Kochen nur wenig Schwefelantimon auf.

Die Umwandlung gelingt nicht, wenn man das rothe Schwefelantimon mit einer verdünnten Auflösung von Weinsäure oder mit Weinstein und Wasser kocht. Auch nach sehr langem Kochen bleibt das Pulver roth.

Das krystallisirte schwarze Schwefelantimon zeigt ein etwas ähnliches Verhalten wie das ihm analog zusammengesetzte krystallisirte gelbe Schwefelarsenik. Auch dieß wird durch Schmelzen amorph, und verändert dabei seine Farbe, aber diese Umwandlung scheint weit leichter und sicherer vor sich zu gehen, als die des Schwefelantimons, denn nach Hausmann erhält man durch Schmelzen des blättrigen Auripigments immer eine glasartige Masse <sup>1)</sup>.

2) *Roths Schwefelantimon, aus Antimonoxydauflösungen durch Schwefelwasserstoff erhalten.*

Dieser Niederschlag hat in der Farbe nur eine entfernte Aehnlichkeit mit dem durchs Schmelzen und schnelles Abkühlen erhaltenen rothen Schwefelantimon. In anderer Beziehung weicht er ebenfalls von diesem ab, da er bekanntlich ein nach dem Trocknen voluminöses Pulver bildet. Bei der mikroskopischen Besichtigung erscheint dasselbe als gleichsam häutige unregelmäßige, aber nicht als glasartige Masse.

Die Chemiker sind noch uneinig über die Natur dieses Niederschlags. Es wird ziemlich allgemein angenommen, daß er nach dem Trocknen noch chemisch gebundenes Wasser enthalte, das erst fortgeht, wenn er in die schwarze Modification verwandelt wird. Mitscherlich bemerkt, daß man dieses Schwefelantimon im Wasserbade trocknen kann, ohne daß es sein Wasser abgibt; dieses findet erst statt, wenn es stark erhitzt wird, wobei die Farbe so intensiv wird, daß es schwarz erscheint <sup>2)</sup>. Fuchs giebt an, daß das durch Schwefelwasserstoff aus einer Lösung des Brechweinsteins gefällte Schwefelantimon Wasser, wie

1) Pogg. Ann. Bd. 79, S. 317.

2) Lehrb. der Chemie 4te Aufl. 2. Bd. S. 791.

der Opal, in unbestimmten Verhältnissen einschließt, das erst beim Schmelzen gänzlich entweicht, und die Masse blasig macht <sup>1)</sup>. Regnault sagt, daß dieses Hydrat des Schwefelantimons durch erhöhte Temperatur leicht sein Wasser verliere, und sich in wasserfreies schwarzes Schwefelmetall verwandele <sup>2)</sup>. Pelouze und Frémy führen an, daß das durch Schwefelwasserstoff erzeugte Schwefelantimon durch den Einfluß einer wenig erhöhten Temperatur sich entwässert und grauschwarz metallisch wird <sup>3)</sup>. Nur Berzelius läßt es zweifelhaft, ob das Wasser, welches das durch Schwefelwasserstoff erhaltene Schwefelantimon nach dem Trocknen in einem Destillationsgefäße durchs Erhitzen abgiebt, wobei es schwarzgrau wird, chemisch mit demselben verbunden war; er meint, daß dies noch nicht durch beweisende Versuche dargelegt worden sey <sup>4)</sup>.

Es ist auch schon früher beobachtet worden, daß wenn Schwefelantimon aus Antimonoxylösungen vermittelst Schwefelwasserstoffs gefällt worden ist, es hartnäckig einen Theil der Säure beim Auswaschen zurückhalte, in welcher das Antimon aufgelöst gewesen war. Namentlich hat L. Gmelin früher behauptet, daß, wenn man durch eine Auflösung von Chlorantimon in Chlorwasserstoffsäure Schwefelwasserstoffgas leite, man einen lebhaft pommeranzengelben Niederschlag erhalte, welcher noch so gut ausgewaschen, Chlorantimon enthält; die Verbindung schwärzt sich nach Gmelin schon beim mehrstündigen Trocknen im Wasserbade, Chlorantimon entwickelnd; beim Erhitzen in der Retorte entweicht flüssiges chlorwasserstoffsaures Chlorantimon und etwas Schwefelwasserstoffgas, und es bleiben 90,08 Proc. Schwefelantimon zurück <sup>5)</sup>. — Duflos hat später diese Beobachtung bestätigt, und zu zeigen gesucht, daß der zuerst gebildete mehr helle Niederschlag

1) Pogg. Ann. Bd. 31, S. 579.

2) *Cours élémentaire de Chimie* 3. Ausgabe Bd. 3, S. 247.

3) *Cours de Chimie générale* Bd. 2, S. 518.

4) Lehrbuch der Chemie 5. Aufl. Bd. 2, S. 299.

5) Handbuch der theor. Chemie 3. Aufl. Bd. I. S. 987.

5,24 Proc. Chlor, der später erzeugte dunkelrothbraune, dem Kermes ähnliche 2,74 Proc. Chlor enthalte, und dafs dieser nicht weiter zersetzt werde, wie lange man auch Schwefelwasserstoff durch die Lösung leite <sup>1)</sup>).

Ich habe indessen durch schon vor langer Zeit angestellte Versuche gezeigt, dafs man den ganzen Chlorgehalt des Chlorantimons erhalten könne, wenn man aus den Lösungen desselben mittelst Schwefelwasserstoff das Antimon als Schwefelantimon fällt, und diefs sowohl, wenn in den Lösungen die niedrigste oder die höchste Chlorverbindung dieses Metalles enthalten sey <sup>2)</sup>). Später zeigte ich durch besonders zu diesem Zwecke angestellte Versuche, dafs in dem Niederschlag, wenigstens wenn die Lösung Antimonsäure enthalten hatte, kein Chlor vorhanden wäre <sup>3)</sup>).

Es wird aber in der That das Chlor in einem Schwefelantimon, welches durch Fällung mittelst Schwefelwasserstoff aus einer Chlorantimonlösung erhalten worden, sehr schwer durchs Auswaschen entfernt. Bei einer nicht bedeutenden Menge desselben mufste der Niederschlag acht Tage hintereinander mit Wasser behandelt werden. Während der ersten vier Tage wurde er mit kaltem, in den letzten Tagen mit heifsem und zuletzt nur mit kochendem Wasser ausgewaschen. Er war dann frei von Chlor, und eine Lösung von salpetersaurem Silberoxyd brachte im Waschwasser keine Opalisirung hervor, oder wenigstens eine so geringe, dafs man sie sogleich nicht zu erkennen im Stande war.

Auch wenn das Schwefelantimon aus einer Lösung von Brechweinstein durch Schwefelwasserstoff gefällt worden ist, so läfst es sich sehr schwer durchs Auswaschen vollständig von den letzten Spuren von Weinstein befreien.

Mit einer ähnlichen oder auch gröfseren Hartnäckigkeit behält dieses Schwefelantimon das Wasser bei erhöhten

1) Schweigger's Jahrbuch der Chemie, Bd. 7, S. 269.

2) Pogg. Ann. Bd. 3, S. 441.

3) Pogg. Ann. Bd. 28, S. 481.

Temperaturen zurück. Ist es chlorfrei und hat man es lange bei 100° C. getrocknet, so giebt es im Reagensglase erhitzt, während es sich in die schwarze Modification verwandelt noch etwas Wasser, freilich eine sehr kleine Menge, die aber gewöhnlich blaues Lackmuspapier noch außerordentlich schwach röthet. Die Menge desselben ist aber sehr gering.

Das bei 100° C. getrocknete Schwefelantimon kann bis 150° C. erhitzt werden, ohne an Gewicht abzunehmen und ohne die Farbe zu verändern. Diefs geschieht auch noch nicht, wenn die Temperatur nach und nach bis 190° C. gesteigert wird. Aber bei 200° C. wird es schwarz, während es einen Gewichtsverlust von nur 0,61 Proc. erleidet. Man kann es dann beim Ausschluss der Luft bedeutend stärker erhitzen, ohne dafs dieser Gewichtsverlust sich vermehrt.

Die geringe Menge des Wassers, welche das Schwefelantimon noch bei 190° C. behält und erst bei 200° verliert, ist zu gering, um annehmen zu können, dafs sie chemisch mit dem Schwefelantimon verbunden sey. Es wären dann ungefähr gegen ein Atom Wasser 9 Atome Schwefelantimon. Eine solche Verbindung ist im Hundert zusammengesetzt aus:

	At. •	gefunden	berechn.
Schwefelantimon	9	99,39	99,44
Wasser	1	0,61	0,56
		<u>100,00.</u>	<u>100,00.</u>

Ich denke mir, dafs der voluminöse Niederschlag des durch Schwefelwasserstoff gefällten Schwefelantimons auf ähnliche Weise eine sehr kleine Menge von Wasser bei erhöhter Temperatur zurückbehält, wie z. B. poröses Kohlenpulver.

Aber dieses rothe Schwefelantimon geht genau bei derselben Temperatur, nämlich bei 200°, in die schwarze Modification über, wie das rothe Schwefelantimon, das durch Schmelzen und schnelles Abkühlen aus dem schwarzen erhalten worden ist.

Wegen der voluminösen Beschaffenheit des durch Schwe-

felwasserstoff gefällten Schwefelantimons ist das specifische Gewicht desselben schwer genau zu finden. Es wurde von Hrn. Weber zu 4,413 bestimmt, aber das absolute Gewicht des Schwefelmetalls, das zu dem Versuch angewandt wurde, betrug nur 0,609 Grm. Es war dieß unter Wasser im feuchten Zustande gewogen worden, wie man es unmittelbar nach dem Auswaschen erhalten hatte; eine größere Menge konnte wegen des größeren Umfangs der Verbindung nicht angewandt werden.

Um von bedeutenderen Mengen des Niederschlags die Dichtigkeit bestimmen zu können, wurde derselbe erst getrocknet. Als nun 2,310 Grm. des Schwefelantimons zum Versuch angewandt werden konnten, wurde das specifische Gewicht davon zu 4,459 bestimmt.

Der Versuch wurde noch einmal auf die Weise wiederholt, daß das gefällte und vollkommen ausgewaschene Schwefelantimon mit einer großen Menge Wasser länger als zwei Stunden hinter einander unter Ersetzung des verdampften Wassers gekocht wurde. Die Farbe des Schwefelmetalls wurde dadurch nicht verändert, aber es wurde minder voluminös, so daß auch auf diese Weise größere Mengen zur Bestimmung der Dichtigkeit angewandt werden konnten. Das specifische Gewicht von einer Menge von 2,354 Grm. wurde bei diesem dritten Versuche zu 4,392 bestimmt.

Das Mittel aus diesen drei Versuchen ist 4,421.

Aber diese Zahl drückt eigentlich nicht das wahre Verhältniß der Dichtigkeit dieses Schwefelantimons zu der des Wassers aus. Denn wie bei allen Versuchen, um das specifische Gewicht von pulverförmigen und voluminösen Körpern zu bestimmen, wurde auch der Niederschlag des vermittelst Schwefelwasserstoff gefällten Schwefelantimons im ganz feuchten Zustande nach dem Auswaschen unter Wasser gewogen, darauf das den Niederschlag umgebende Wasser abgedampft, und derselbe so stark erhitzt, daß er wasserfrei und schwarz wurde, was eigentlich nicht hätte geschehen müssen; denn die unter Wasser gewogene Substanz

enthielt noch, wie wir gesehen haben, 0,61 Proc. Wasser, das unstreitig wohl von einer gröfseren Verdichtung als von der des gewöhnlichen flüssigen Wassers war.

Jedenfalls aber ist die Dichtigkeit dieser Modification des Schwefelantimons gröfser, als die des rothen Schwefelantimons, das durch plötzliches Abkühlen des geschmolzenen krystallisirten erhalten war. In vieler anderer Hinsicht verhält es sich indessen demselben ähnlich.

Es ist auch, wenn es bei  $100^{\circ}$  C. getrocknet worden ist, wie dieses ein Nichtleiter der Elektricität und bei der mikroskopischen Untersuchung vollkommen amorph.

Ich habe ferner schon oben bemerkt, dafs beide fast genau bei derselben Temperatur, nämlich bei  $200^{\circ}$  C. schwarz werden, und sich in die krystallinische Modification verwandeln. Ein Unterschied hierbei ist nur der, dafs bei der einen Art des Schwefelantimons bei dieser Temperatur eine sehr geringe Menge Wasser abgegeben wird, bei der andern nicht. — Das schwarze Schwefelantimon, das durch Erhitzung aus dem durch Schwefelwasserstoff gefällten Schwefelmetall erhalten worden war, zeigte merkwürdiger Weise ein noch etwas höheres specifisches Gewicht als selbst das gewöhnliche durch Schmelzen erhaltene. In zwei Versuchen wurde dasselbe von Hrn. Weber zu 4,756 und zu 4,806 bestimmt. Unter dem Mikroskop besichtigt ist es vollkommen krystallinisch. Es ist ein Leiter der Elektricität, wie das durch Schmelzen erhaltene schwarze Schwefelantimon.

Ebenso wie bei dem durch schnelles Abkühlen erhaltenen rothen Schwefelantimon, erfolgt auch bei dem durch Schwefelwasserstoff gefällten der Uebergang in die schwarze Modification mittelst Säuren. Uebergießt man letzteres mit mäfsig starker Chlorwasserstoffsäure und läfst das Ganze in der Kälte stehen, so wird es endlich vollkommen schwarz, doch erfordert diese Umwandlung eine etwas längere Zeit, als das durch schnelles Abkühlen erhaltene rothe Schwefelantimon.

Mit concentrirter Schwefelsäure behandelt, zersetzt es



sich schon in der Kälte, es entwickelt sich schweflichte Säure, und es bildet sich schwefelsaures Antimonoxyd, ohne dafs vorher das Unzersetzte sich schwarz färbt.

Dafs es nach dem Auswaschen, mit vielem Wasser längere Zeit gekocht, keine Umwandlung erleidet, ist schon oben bemerkt worden. Enthält das Wasser aber eine geringe Menge Chlorwasserstoffsäure, so wird das oranienrothe Schwefelantimon in das schwarze verwandelt. Hat man nämlich aus einer verdünnten Lösung von Chlorantimon in Chlorwasserstoffsäure mittelst eines Ueberschusses von Schwefelwasserstoff alles Antimon als Schwefelmetall gefällt, und kocht man darauf das Ganze ohne die verdünnte Chlorwasserstoffsäure abzuscheiden längere Zeit unter Ersetzung des verdampften Wassers, so färbt sich das Schwefelantimon nach und nach dunkler und wird endlich ganz schwarz. Ist die Chlorwasserstoffsäure sehr verdünnt, so gehört ein mehrstündiges ununterbrochenes Kochen dazu, um diese Umwandlung zu bewirken. Nach einstündigem Kochen wird es dunkelbraunroth, und erst nach zweistündigen Kochen fängt es an schwarz zu werden. Setzt man dann das Kochen noch einige Zeit länger fort, so wird es vollkommen schwarz. Das specifische Gewicht des schwarzen Pulvers war nach Hrn. Weber 4,640. Es ist vollkommen krystallinisch, leitete aber die Elektrizität nicht ganz so gut, wie die anderen Arten des schwarzen Schwefelantimons. Es wird bei diesem Versuche ein Theil des Schwefelantimons in der verdünnten Säure gelöst. — Die schnellere oder langsamere Umwandlung des oranienrothen Schwefelmetalls in das schwarze, hängt von der gröfsern oder geringern Concentration der Säure ab. Man kann durch einen gröfsern Zusatz von Chlorwasserstoffsäure die Umwandlung sehr beschleunigen, doch löst sich dann natürlich mehr vom Schwefelantimon auf.

Ungleich schwieriger als durch verdünnte Chlorwasserstoffsäure und doch nur unvollkommen gelingt die Umwandlung des durch Schwefelwasserstoff erzeugten Schwefelantimons in die schwarze Modification durch verdünnte

Schwefelsäure. Es wird dazu ein außerordentlich langes Kochen erfordert, wobei ein nicht sehr bedeutender Theil des Schwefelmetalls aufgelöst wird.

Gar nicht gelingt die Umwandlung durch verdünnte Weinsteinsäure, selbst wenn das Kochen sehr lange fortgesetzt wird. Ebenso unwirksam ist auch ein Kochen mit Weinstein und Wasser. Wenn man daher aus einer Lösung von Brechweinstein das Antimonoxyd durch Schwefelwasserstoff gefällt hat, so kann das Ganze lange gekocht werden, ohne dafs eine Veränderung in der Farbe des Schwefelmetalls erfolgt. — In beiden Fällen, sowohl wenn Weinsteinsäure, als auch wenn Weinstein angewandt worden ist, werden durch ein mehrstündiges Kochen mit Wasser nur höchst geringe Spuren von Antimon aufgelöst.

Dafs das durch Schwefelwasserstoff gefällte Schwefelantimon, welches durch Kochen mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure in die schwarze Modification wiederum verwandelt worden war, eine etwas geringere Dichtigkeit und eine etwas geringere leitende Kraft für die Elektrizität zeigt, rührt offenbar daher, dafs die Umwandlung noch nicht ganz vollständig erfolgt war; obgleich bei der mikroskopischen Besichtigung das schwarze Pulver sich aus kleinen Krystallen bestehend erwies.

Aber ein solches durch Schwefelwasserstoff gefällte Schwefelmetall, das durch Kochen mit verdünnter Chlorwasserstoffsäure schwarz geworden, dabei also keiner höheren Temperatur als ungefähr  $100^{\circ}$  C. ausgesetzt gewesen seyn konnte, enthält nach dem Trocknen bei  $100^{\circ}$  C. kein Wasser, und kann in einem trocknen Reagensglase stärker erhitzt werden, ohne Wasser abzugeben, während das rothe durch Schwefelwasserstoff erzeugte Schwefelmetall noch bei  $190^{\circ}$  C. Wasser beibehalten kann.

Die Einwirkung der Chlorwasserstoffsäure auf die rothen Modificationen des Schwefelantimons, ist in der That merkwürdig. Berzelius würde die Umänderung desselben in die schwarze Modification als von der katalytischen Kraft

herrührend angenommen haben. Die Säure bringt dieselbe Veränderung hervor wie eine Temperatur von  $200^{\circ}$ , und wirkt nur indem sie einen kleinen Theil des Schwefelantimons zersetzt und auflöst. Denn Säuren, welche auf das Schwefelantimon nicht auflösend wirken, verändern auch die rothe Modification nicht.

Die höhere Schwefelungsstufe des Antimons,  $\text{SbS}^5$ , welche durch Schwefelwasserstoff aus den Lösungen der Antimon-säure, oder durch verdünnte Schwefelsäure und Chlorwasserstoffsäure aus den Lösungen der Schwefelsalze dieses Sulphids gefällt werden kann, und die in ihrem äußern Ansehn der niedrigen Schwefelungsstufe  $\text{SbS}^3$  vollkommen gleicht, wenn diese aus Oxydlösungen durch Schwefelwasserstoff gefällt worden ist, theilt nicht mit dieser die Eigenschaft Wasser bei höheren Temperaturen zu behalten. Nachdem sie lange bei  $100^{\circ}$  C. erhitzt worden war, gab sie in einem Reagensglase stärker erhitzt nur Schwefel aber kein Wasser. Es verflüchtigt sich von diesem Schwefelantimon noch kein Schwefel bei  $100^{\circ}$ ; bei  $120^{\circ}$ , also bei einer nur etwas höheren Temperatur bei welcher der reine Schwefel zu schmelzen anfängt, verliert das höchste Schwefelantimon, nach den Versuchen des Hrn. Weber, nur 1,41 Proc. Schwefel; bei  $140^{\circ}$  1,60 Proc.; bei  $150^{\circ}$  2,02 Proc. Die Austreibung des Schwefels geht, wenn die Temperaturen darauf sehr langsam erhöht werden, äußerst langsam von statten. Aber längere Zeit der Temperatur von  $170^{\circ}$  ausgesetzt, wird das höchste Schwefelantimon schwarz, eine Erscheinung, welche bei der rothen Modification der niedrigsten Schwefelungsstufe erst bei  $200^{\circ}$  stattfindet. Man könnte vielleicht bei der Temperatur von  $170^{\circ}$  die Umwandlung der höchsten Schwefelungsstufe in die niedrigste bewirken, aber sie geschieht dann jedenfalls äußerst langsam, und selbst nach einer dreitägigen Erhitzung bei  $170^{\circ}$  ist sie noch nicht vollendet. Die passendste Temperatur dazu ist die von  $200^{\circ}$ ; aber auch bei dieser muß das Erhitzen sehr lange fortgesetzt werden. Auch

Heffter hat eine Erhitzung bei dieser Temperatur dazu empfohlen <sup>1)</sup>).

Erhitzt man aber das höchste Schwefelantimon bei einer etwas höheren Temperatur, und zwar zwischen 200° bis 230°, so fängt es an sich zu oxydiren, und es wird auf der Oberfläche an verschiedenen Orten weifs. Behandelt man es dann mit Wasser, so gelingt es das Oxydirte durchs Schlämmen vom unzersetzten Schwefelantimon grösstentheils zu trennen.

Das erhaltene schwarze Schwefelantimon erscheint übrigens bei der mikroskopischen Untersuchung krystallinisch und ist ein Leiter der Elektrizität, doch nicht ein so vollkommener, wie das durchs Erhitzen aus den rothen Modificationen der niedrigsten Schwefelungsstufe erhaltene. Auch ist die Dichtigkeit desselben etwas geringer. Nach Herrn Weber ist das specifische Gewicht des schwarzen Schwefelantimons, welches durchs Erhitzen bei 200° aus der höchsten Schwefelungsstufe erhalten worden war 4,570. War die Erhitzung bis zu 230° geschehen, und war dadurch eine geringe Oxydation entstanden, so war dasselbe sogar nur 4,323.

---

#### X. *Ueber die Trennung der Thonerde vom Chromoxyd; von Dr. Dexter.*

---

Gewöhnlich trennt man beide auf die Weise, daß man sie mit einem Gemenge von salpetersauren und kohlen-sauren Alkalien schmelzt. Aber bei der Auflösung der geschmolzenen Masse und dem Zusetzen von Salpetersäure wird ein Theil der entstandenen Chromsäure durch die salpetrichen Säure reducirt, und bei der nachherigen Fällung der Thonerde erhält man diese stark durch Chrom-

1) Pogg. Ann. Bd. 86, S. 423.

oxyd gefärbt. Um dies zu vermeiden, wurde vor und während des Schmelzens chlorsaures Kali hinzugefügt; dessen ungeachtet enthielt die später gefällte Thonerde Chromoxyd. Wenn man Chromoxyd allein mit einer Mischung von salpetersaurem und kohlensaurem Kali schmelzt, und das Geschmolzene mit verdünnter Salpetersäure einige Zeit bei sehr gelinder Hitze digerirt wird, so erhält man durch Uebersättigung vermittelt Ammoniak einen Niederschlag von Chromoxyd. Ein Schmelzen mit chlorsaurem Kali und kohlensaurem Natron giebt einen guten Erfolg bei Chromoxyd allein, aber wenn Thonerde zugleich zugegen ist, so wird dadurch ein Gemenge gebildet, das der oxydirenden Wirkung des chlorsauren Kalis in etwas widersteht.

Die Trennung gelang aber vollkommen bei Anwendung von folgender Methode: Die Oxyde wurden auf die gewöhnliche Weise mit dem doppelten Gewicht von salpetersaurem Kali und dem Vierfachen von kohlensaurem Natron geschmolzen, die geschmolzene Masse wurde mit kochendem Wasser behandelt, eine bedeutende Menge von chlorsaurem Kali hinzugefügt, und mit Chlorwasserstoffsäure schwach übersättigt. Die Flüssigkeit wurde zu einer dicklichen Consistenz abgedampft, während von Zeit zu Zeit eine kleine Menge von chlorsaurem Kali hinzugefügt wurde, so daß dieses Salz beständig im Ueberschufs vorhanden war, um die Chlorwasserstoffsäure zu zerstören. Nach Wiederauflösung in Wasser wurde die Thonerde durch kohlensaures Ammoniak gefällt; sie war vollkommen frei von Chromoxyd. Die Chromsäure wurde nach bekannten Methoden bestimmt.

Eine nach dieser Methode ausgeführte Analyse gab folgende Resultate:

	Genommen.	Erhalten.
Thonerde	43,22	43,56
Chromoxyd	56,78	56,21
	<u>100,00.</u>	<u>99,77.</u>

# XI. Ueber die Zusammensetzung des nordamerikanischen Spodumens; von C. Rammelsberg.

In einer kürzlich publicirten Abhandlung <sup>1)</sup> habe ich die chemische Zusammensetzung des *Petalits* und *Spodumens* schärfer zu bestimmen gesucht, als es bisher geschehen war. Aus meinen eigenen Analysen sowohl als aus den früheren von Hagen hatte sich ergeben, dafs im Spodumen von Utö und aus Tyrol der Sauerstoff der Alkalien, der Thonerde und der Kieselsäure = 1:4:10 angenommen werden müsse, dafs das Mineral folglich aus Bisilikaten, der Formel  $R^3 \ddot{Si}^2 + 4 \ddot{Al} \ddot{Si}$  entsprechend, zusammengesetzt ist.

Diesem Resultat widersprachen jedoch die Analysen, welche Brush mit zwei amerikanischen Spodumenvarietäten, von Norwich und Sterling, angestellt hat, weil das Mineral danach nur 62—63 Proc. Säure enthält, während Arfvedson, Regnault, Hagen und ich stets 65 bis 66 Proc. gefunden haben. Da ausserdem die Richtigkeit der so wichtigen Alkalibestimmung (sie geschah indirect, und das Kali wurde ganz übersehen) keineswegs verbürgt erschien, so habe ich die Richtigkeit dieser Analysen in Zweifel ziehen zu müssen geglaubt, und die von Brush vorgeschlagene Formel, welche der des Leucits analog ist, vorläufig nicht angenommen.

Durch Hrn. Dr. Krantz in Bonn erhielt ich später eine ansehnliche Menge Spodumen von Sterling, Massachusetts, und bin jetzt im Stande, einige Versuche mit demselben beschreiben zu können.

Die Exemplare besitzen nicht das schöne frische Ansehen des Spodumens von Utö. Sie sind weifs, gelblich oder bläulich grau gefärbt, wenig glänzend, von feinen Spalten durchsetzt, und in diesen, wie an manchen Stellen  
der

1) Diese Annalen, Bd. 85, S. 544.

der Oberfläche mit zarten Glimmerblättchen, so wie auch mit gelben Flecken von Eisenoxydhydrat überzogen. Die ganze Erscheinung des Minerals macht den Eindruck, als sey es nicht mehr ganz frisch, und die Analyse dient dieser Vermuthung nicht wenig zur Stütze.

Das spec. Gew. fand ich = 3,073. Brash giebt das der Varietät von Norwich = 3,18 an. Die Varietäten von Utö und Tyrol wiegen nach meinen Versuchen 3,13.

In dem Folgenden ist *a* eine Analyse mittelst kohlen-sauren Natrons, *b* mittelst Fluorwasserstoffsäure. Ich muß bei dieser Gelegenheit daran erinnern, daß die Thonerde immer etwas Alkali, insbesondere Lithion enthält, auch wenn sie gut ausgewaschen ist. Man muß sie nach dem Glühen mit Wasser behandeln, und erhält dann eine alkalisch reagirende Flüssigkeit, welche an der Luft Thonerde fallen läßt. Sie wurde mit Chlorwasserstoffsäure neutralisirt, im Wasserbade abgedampft und dann durch Ammoniak zerlegt. Das Filtrat enthält dann stets Chlorlithium. Der Gang der Analysen ist schon früher angegeben.

	<i>a.</i>	<i>b.</i>	Mittel.		Sauerstoff.
Kieselsäure	65,27		65,27		33,91
Thonerde	27,28	27,66	27,47		12,83
Kalkerde	0,43	0,18	0,30	0,08	} 2,59
Talkerde	0,18	0,03	0,10	0,04	
Lithion		2,90	2,90	1,59	
Natron		0,44	0,44	0,11	
Kali		4,54	4,54	0,77	
<hr/>					
			101,02.		

Hagen hatte in dieser Varietät schon früher die Menge der beiden Hauptbestandtheile bestimmt. Er fand 65,25 Kieselsäure und 27,55 Thonerde, also genau dieselben Mengen wie ich. Die Kieselsäure, welche auch Bowen in dem Spodumen von Conway, Massachusetts, = 65,3 Proc. angiebt, stimmt folglich mit der in den europäischen Spodumenen gefundenen vollkommen überein, und auch die Menge der Thonerde weicht wenig ab von derjenigen,

welche namentlich die Analysen mittelst kohlen-sauren Natrons bei allen übrigen Varietäten geliefert haben.

Allein der amerikanische Spodumen ist ärmer an Lithion und Natron, und enthält 4,5 Proc. Kali, welches, wie ich mich überzeugt habe, nicht durch die Reagentien hineingekommen ist. Das Sauerstoffverhältniß von R:Äl:Si ist = 0,77:3,8:10, während es = 1:4:10 seyn sollte. Ich bin der Ansicht, daß es ursprünglich auch so war, daß das Mineral aber, wie schon sein Ansehen zeigt, etwas verwittert ist, und daß der Anfang der Glimmerbildung hier, gleichwie in vielen anderen Fällen (Turmalin von Rozena, Cordierit- und Skapolith-Pseudomorphosen) sich eben durch das Auftreten des bedeutenden Kaligehalts zu erkennen giebt, während das sauerstoffreiche Lithion und das Natron theilweise ausgelaugt sind.

Man darf hiernach wohl annehmen, daß auch der amerikanische Spodumen, wo er sich ganz unverändert findet, dieselbe Zusammensetzung wie der europäische habe.

## XII. *Ueber die Verbindungen der beiden Säuren des Sells mit den beiden Quecksilberoxyden, und das natürliche selenigsaure Quecksilberoxydul (Onofrit); von Friedrich Köhler.*

(Auszugsweise aus dem Osterprogramme der Berliner Gewerbeschule vom Verf. mitgetheilt.)

Unsere Kenntniß der Verbindungen der Sellsäuren mit den Quecksilberoxyden beschränkte sich bisher auf die des neutralen selenigsauren Quecksilberoxyduls und des neutralen und sauren selenigsauren Quecksilberoxyds, welche sämmtlich Berzelius <sup>1)</sup> dargestellt und beschrieben hat.

Durch eine nähere Untersuchung von Quecksilbererzen

1) Lehrbuch, 5. Ausg. S. 890 und 905.



von San Onofrio in Mexico, die der verstorbene Hr. Carl Ehrenberg mitgebracht hatte, und unter denen ich selenigsaures Quecksilberoxydul auffand, wurde mir Veranlassung geboten, auch die bisjetzt noch nicht beschriebenen selenisauren Quecksilbersalze der Vergleichung wegen darzustellen, wodurch dann die in Folgendem mitgetheilte Arbeit entstand.

Ueber die angewandten analytischen Methoden bemerke ich nur, dafs das Quecksilber durch Schwefelwasserstoff aus der Chloridauflösung niedergeschlagen und aus dem Gewicht des im Wasserbade getrockneten Schwefelquecksilbers (Hg) berechnet; ferner dafs das Selen bald mittelst schwefligsauren Alkalis reducirt, bald als selenisaure Baryterde gefällt wurde.

Der Wassergehalt wurde durch Erhitzen des Salzes in einem trocknen Luftstrom, Auffangen der Wasserdämpfe in Chlorcalcium, directe und indirecte Wägung bestimmt; die Leichtzeretzbarkeit der untersuchten Verbindungen aber und der Umstand, dafs das letzte Wasser erst entweicht, wenn an einer andern Stelle schon Zersetzung beginnt, giebt den Wasserbestimmungen eine unvermeidliche Unsicherheit.

1. *Selenigsaures Quecksilberoxydul*. Dieses schon von Berzelius beschriebene Salz wurde durch Fällung von selenigsaurem Natron mit salpetersaurem Quecksilberoxydul erhalten. Es bildet ein weifses, am Lichte unveränderliches Pulver, das weder unter der Luftpumpe, noch im Wasserbade einen Gewichtsverlust oder eine Farbenveränderung erleidet. Bei stärkerem Erhitzen giebt es eine sehr geringe Wassermenge, wird strohgelb, entwickelt gelben Rauch, indem unter theilweiser Zersetzung des Salzes sich Quecksilber und selenige Säuren sublimiren, und schmilzt zuletzt zur dunkelbraunen Flüssigkeit, die sich unter Sieden vollständig verflüchtigt und in Gestalt von braunen, beim Abkühlen durchsichtigen und hellbernstein- oder schwefelgelb werdenden, amorph erstarrenden Tropfen sublimirt, ein von Berzelius angegebenes sehr charakteristisches

Verhalten. Es wird von Wasser nicht angegriffen, ist in kalter Salpetersäure unlöslich, dagegen vollkommen löslich in heifser, wird durch Salzsäure roth von ausgeschiedenem Selen und durch Kalilösung schwarz.

Seiner Mischung nach ist es Hg Se.

Analyse.	Rechnung.
79,498 Quecksilberoxydul	78,917
20,341 selenigsaure Säure	21,083
<u>99,839</u>	<u>100,000.</u>

Das wasserfreie Salz fand ich als stroh- bis citronengelbe erdige Masse, meist wenig gemengt mit Quecksilberhornerz, an den oben erwähnten Quecksilbererzen von San Onofrio, die Gangstücke zu seyn schienen, in denen Kalkspath mit zerfressenem Quarz durchwachsen ist und worin das von H. Rose <sup>1)</sup> analysirte Schwefelselenquecksilber, etwas Zinnober, viel gediegenes Quecksilber, Quecksilberhornerz und selenigsaures Quecksilberoxydul (Onofrit) eingesprengt vorkommen.

Das chemische Verhalten des Onofrits auf nassem und trockenem Wege stimmte vollkommen mit dem oben angegebenen des gelben selenigsauren Quecksilberoxyduls überein.

Eine Analyse des Mineralgemenges, worin der Onofrit vorkommt, ergab:

3,529 selenigsaures Quecksilberoxydul
56,987 Quecksilberchlortür
31,225 gediegenes Quecksilber
4,390 Kalkspath
3,236 Quarz
Spur Silber
<u>99,367.</u>

2. *Saures selenigsaures Quecksilberoxydul.* Es entsteht dieses Salz aus dem neutralen, wenn letzteres geschmolzen (was bei 180° C. erfolgt), und über seinen Schmelzpunkt erhitzt wird. Es bildet eine dunkel ziegelrothe, undurchsichtige, im Bruche krystallinisch strahlige Masse, dem Fünffachschwefelkali ähnlich, vom specifischen Gewichte

1) Diese Annalen, Bd. 46, S. 315.

7,350 bis  $+13,5^{\circ}$  C. Auf nassem und trockenem Wege zeigt es im Allgemeinen das Verhalten des neutralen Salzes, nur wird es selbst durch kochende Salpetersäure wenig verändert, auch giebt es beim Erhitzen ein reichlicheres Sublimat von seleniger Säure.

Die Analyse lieferte  $\text{Hg}^3\text{Se}^4$ , welches Sättigungsverhältniß wahrscheinlicher durch  $2\text{Hg Se} + \text{Hg Se}^2$  ausgedrückt werden kann.

Analyse.		Rechnung.
73,507	Quecksilberoxydul	73,735
26,236	selenige Säure	26,265
99,743.		100,000

3. *Selensaures Quecksilberoxydul.* Beim Vermischen einer Auflösung von selensaurem Natron mit salpetersaurem Quecksilberoxydul entsteht ein weißer Niederschlag, der wahrscheinlich wasserhaltiges neutrales Salz ist, beim Auswaschen aber eine Zersetzung erleidet, indem er allmählig gelb wird und sich in sehr geringer Menge auflöst. Nach dem Trocknen im Wasserbade hatte das Salz eine schwach gelbliche Farbe, die sich am Lichte bald in Grau umänderte. Durch Kalilösung wurde es augenblicklich schwarz, von Salpetersäure selbst im Kochen wenig angegriffen, indem es dabei weiß wurde. Salzsäure färbt es nicht in der Kälte, wohl aber in der Hitze roth durch ausgeschiedenes Selen. Sein Verhalten auf trockenem Wege ist dem des selenigsauren Quecksilberoxyduls ähnlich; der geschmolzene dunkelbraune Rückstand zersetzte sich beim Erhitzen ebenso wie das rothe saure Salz No. 2.

Die Analyse führte auf  $\text{Hg}^6\text{Se}^5$ , was sich als  $4\text{HgSe} + \text{Hg}^2\text{Se}$ , oder wahrscheinlicher als ein Gemenge von neutralem mit halbselensaurem Quecksilberoxydul deuten läßt.

Analyse.		Rechnung.
78,604	Quecksilberoxydul	79,734
21,216	Selensäure	20,266
99,820.		100,000.

4. *Selenigsaures Quecksilberoxyd*. Durch Vermischen von Quecksilberchlorid mit selenigsaurem Natron entsteht weder in der Kälte noch in der Wärme eine Zersetzung; ich habe daher dieses Salz durch directe Einwirkung wässriger seleniger Säure auf Quecksilberoxyd darzustellen gesucht. Hierbei fand sich nun, daß auf trockenem Wege bereitetes, rothes Quecksilberoxyd und selenige Säure weder in der Kälte, noch in der Wärme auf einander wirkten, daß aber auf nassem Wege dargestelltes gelbes Quecksilberoxyd, auf welches kalte selenige Säure ebenso wenig wirkte, wie auf das rothe, in kochender seleniger Säure sich blafs-gelb färbte, ohne aufgelöst zu werden. Durch Abdampfen einer Portion gelben Quecksilberoxyds mit überschüssiger seleniger Säure bis zur völligen Trockniss und Wiederauflösen in Wasser nahm dieses nur selenige Säure und kein Quecksilberoxyd auf und hinterließ dasselbe blafs-gelbe Salz.

Diese Thatsachen stehen im Widerspruch mit den Beobachtungen von Berzelius, der durch Eintragen von Quecksilberoxyd in selenige Säure ein sich ausscheidendes weisses neutrales und ein leicht auflösliches, in langen Säulen krystallisirendes saures Salz erhielt. Es mag also der Concentrationsgrad der selenigen Säure bei der Darstellung dieser Salze eine wesentliche Rolle spielen.

Das blafs-gelbe, amorphe Salz, das sich am Lichte nicht verändert, löst sich selbst in heifser Salpetersäure schwer, dagegen in Salzsäure leicht auf, scheidet mit Kali gelbes Oxyd ab, giebt beim Erhitzen eine sehr geringe Wassermenge, ziemlich viel sublimirte selenige Säure und reducirtes Quecksilber, und schmilzt dann zur braunen sich in schwefelgelben Tropfen sublimirenden Flüssigkeit unter Hinterlassung eines geringen Rückstandes von Quecksilberoxyd, das erst in stärkerer Hitze sich allmählig zersetzt und verflüchtigt.

Die Analyse entsprach der Formel  $\text{Hg}^7\text{Se}^4$ , was sich wahrscheinlicher durch  $3\text{Hg}^2\text{Se} + \text{HgSe}$  ausdrücken läßt,

wenn es nicht ebenso, wie das Salz No. 3, ein Gemenge von neutralem mit halbselenigsaurem Quecksilberoxyd ist.

Analyse.		Rechnung.
76,987	Quecksilberoxyd	77,278
22,521	selenige Säure	22,722
<u>99,508.</u>		<u>100,000.</u>

5. *Basisch selensaures Quecksilberoxyd.* Da sich auch Quecksilberchlorid mit selensaurem Natron nicht zersetzt: so wurde auch hier der Weg directer Darstellung versucht. Concentrirte Selensäure kann ebenfalls mit ganz fein geriebenen rothen Quecksilberoxyd gekocht werden, ohne dafs dadurch eine Verbindung oder Auflösung entsteht, während auf nassem Wege bereitetes Oxyd, am besten noch nafs in heifse Selensäure eingetragen, schnell seine Farbe ändert und zum geringeren Theile sich auflöst. Dieses verschiedenartige Verhalten des rothen und gelben Quecksilberoxyds gegen die beiden Säuren des Selens erinnert an das von Pelouze <sup>1)</sup> beobachtete abweichende Verhalten der genannten beiden Oxyde gegen Chlorgas, und die in Folge dieses Umstandes von Berzelius <sup>2)</sup> vermuthete allotropische Verschiedenheit der beiden Oxyde gewinnt hierdurch eine neue Stütze.

Das in der Selensäure ungelöst gebliebene Salz hat nafs eine lebhaft rothe, der des basischen chromsauren Bleioxyds ähnliche Farbe, die aber durch Trocknen an der Luft und zerlegt im Wasserbade etwas bräunlicher wird, sich dann aber nicht mehr ändert. Es ist nicht in kalter, wohl aber in heifser Salpetersäure auflöslich, löst sich leicht in Salzsäure und giebt mit Kali gelbes Quecksilberoxyd. Beim Erhitzen giebt es, ohne zu schmelzen und indem es sich schwarzbraun färbt, zuerst eine geringe Wassermenge, dann erscheinen reducirtes Quecksilber, selenige Säure und selenigsaures Quecksilberoxydul, endlich kommt der Rückstand unter Sublimation der eben genannten Substanzen zum Schmelzen, und erstarrt dann wieder, indem erst bei

1) Wöhler und Liebig Annalen d. Chem. u. Pharm. Bd. 46, S. 195.

2) Lehrbuch, 5te Ausg. Bd. 2, S. 531.

stärkerer Hitze sich zersetzendes Quecksilberoxyd zurückbleibt.

Die Analyse gab  $2\text{Hg}^3\ddot{\text{Se}} + \text{H}$ , also, den Wassergehalt abgerechnet, eine dem Mineralturpeth analoge Mischung.

Analyse.		Rechnung.
82,747	Quecksilberoxyd	82,641
15,523	Selensäure	16,212
1,205	Wasser	1,147
<u>99,475.</u>		<u>100,000.</u>

6. *Selensaures Quecksilberoxyd.* Die von dem rothen basischen Salze No. 5 abgegossene saure Flüssigkeit gab beim Eindampfen in sehr gelinder Wärme einen Absatz sehr kleiner warzenförmiger Gruppen von concentrisch faseriger Structur, die zuerst auf einer Platte verglühten Porzellans und dann unter der Luftpumpe getrocknet wurden. In diesem Zustande hatte das Salz das Ansehen eines Haufwerks matter und leichter Körner von einer schmutzig graugelblichen, am Lichte sich nicht weiter ändernden Farbe. Mit Wasser übergossen, röthet es sich schnell und hinterläßt eine große Menge des rothen basischen Salzes, während nur eine geringe Menge als saures Salz sich auflöst. Kali scheidet daraus gelbes Oxyd ab. Erhitzt, schmilzt es sehr leicht, giebt zuerst Wasser, dann selenige Säure, die mit dem Wasser große Krystalle bildet, reducirtes Quecksilber, die gelben Tropfen des selenigsauren Quecksilberoxyduls und hinterläßt endlich eine geringe Menge Oxyd.

Die Analyse lieferte  $\text{Hg}\ddot{\text{Se}} + \text{H}$ , mit Weglassung des Wassergehaltes dem neutralen schwefelsauren Quecksilberoxyd analog.

Analyse.		Rechnung.
59,253	Quecksilberoxyd	59,856
35,163	Selensäure	35,204
4,043	Wasser	4,980
<u>98,459.</u>		<u>100,000.</u>

### XIII. *Ueber eine elektromagnetische Maschine mit oscillirenden Ankern; von C. A. Grüel,*

Mechaniker zu Berlin.

**D**aß die Kraft, mit welcher die Elektromagnete ihren Anker anziehen, mit der Entfernung von den Polen sehr rasch abnimmt, ist längst bekannt, und erst neuerdings auch für verschiedene Formen der Magnete und Anker, so wie auch unter wechselnden Stromstärken mit vieler Genauigkeit bestimmt worden.

Es ergibt sich daraus für die technische Anwendung des Elektromagnetismus, bei welcher die Bewegung des Ankers zu einer mechanischen Arbeit benutzt wird, die Nothwendigkeit, diese Bewegung zu beschränken, damit der Anker in der Wirkungssphäre der magnetischen Kraft verbleibe. Die Einrichtung unserer bewährtesten telegraphischen Apparate bezüglich jener ersten wesentlichsten Theile entspricht dieser Bedingung vollkommen.

Bei den elektromagnetischen Maschinen, welche eine Triebkraft erzeugen sollen, und ebenfalls aus einem festen und einem beweglichen System bestehen, muß es ganz besonders darauf ankommen, den größtmöglichen Nutzeffect aus der magnetischen Anziehung zu gewinnen. • Da aber die Wirkungsgröße einer Kraft auch nach dem Raum bemessen werden muß, in welchem sie sich thätig zeigt, und nach dem oben gesagten für die elektromagnetischen Maschinen darin ein ungünstiges Verhältniß besteht, so hat man durch verschiedenartige Mittel dahin gestrebt, den Raum, in welchem die Anziehung gleichmäßig wirken soll, zu vergrößern oder anders gesagt, die Hubhöhe zu vermehren.

Das Nähere über die Versuche und Constructionen, welche seit einer Reihe von Jahren zur Vervollkommnung dieser Maschinen gemacht wurden, ist aus den physikalischen und technischen Schriften bekannt; man hat es mit

rotatorischen und Wechselbewegungen, mit Electromagneten und Spiralen in verschiedener Form und Gröfse versucht, hat sie gleichzeitig oder alternirend wirken lassen. Auch hat man die Pole durch Ansätze verbreitert, statt der Anker Stäbe benutzt, und letzteren ihre Bewegung innerhalb der Höhlung einer Reihe von Spiralen angewiesen. Alle diese Vorarbeiten lassen es dennoch unentschieden, ob mit den zu Gebot stehenden Hilfsmitteln, auch in dem bisher günstigsten Fall, der grösste Nutzeffect wirklich erreicht worden sey.

Um den Werth einer bestimmten Construction beurtheilen zu können, mufs man wissen, wie viel Material dazu verwendet, welche Stromstärke benutzt und welcher Nutzeffect erzielt worden ist. Was die von Hrn. Page getroffene Einrichtung betrifft, bei welcher die Magnete durch blofse Spiralen ersetzt sind, die einen Eisenkern in ihre Höhlung hineinziehen, so habe ich die Ueberzeugung noch nicht gewinnen können, dafs dieses Princip mehr leiste, als die Anwendung vollständiger Elektromagnete. Die von Hrn. Page über seine Maschine gegebene Auskunft führt nur zu dem Schlusse, dafs derselbe mit einer monströsen Stromeskraft operirt haben müsse, indem gesagt worden ist, dafs der bei der Bewegung und Wechselung des Commutators an letzterem auftretende Inductionsfunken jedesmal den Knall eines Pistolenschusses erzeugt habe. Eine andere Bemerkung in seinem Bericht schildert den ganz eigen thümlichen Umstand, dafs die Page'sche Maschine fast die doppelte Kraft entwickelt habe, sobald er dieselbe habe rückwärts laufen lassen.

Man könnte hierbei wohl zu der Frage berechtigt seyn, weshalb Hr. Page unter diesen Verhältnissen seine Maschine nicht immer und viel lieber habe rückwärts laufen lassen. Ferner dürfte die Richtigkeit der in jenem Bericht enthaltenen Zahlenangaben aus guten Gründen noch in Frage zu stellen seyn.

Im Jahre 1837 construirte ich zuerst ein elektromagnetisches Modell, und habe seitdem häufig Gelegenheit ge-



habt, elektromagnetische Maschinen und Apparate in den verschiedensten Formen zu fertigen und zu vergleichen. Hierbei lernt man leicht erkennen, welchen Einfluss oft eine geringfügig scheinende Modification auf den Erfolg hat.

Vor längerer Zeit verfertigte ich ein Modell mit 2 alternirend wirkenden Elektromagneten, deren hufeisenförmige Eisenkerne wenige Zoll lang und kaum  $\frac{3}{4}$  Zoll dick waren. Die vier aufrechtstehenden Pole bildeten ein Quadrat, in dessen Mittelpunkt sich die Unterstützung des schwingenden Theils, der an seinen Endpunkten die Anker trug, befand. Die Entfernung, aus welcher die Anker angezogen wurden, war sehr gering, und mittelst eines stabförmigen Hebels wurde die Bewegung etwa 6 mal vergrößert auf die Treibstange übertragen, welche durch den Krummzapfen auf ein Schwungrad von 11 Zoll Durchmesser wirkte.

Die ungemein rapide Bewegung dieser Vorrichtung erregte deshalb Interesse, weil die hierbei angewandte galvanische Kette die allerkleinsten Dimensionen hatte; sie bestand aus einem 2 Zoll langen Platindraht von der Dicke eines Pferdehaars, wovon auch nur die Hälfte in die Salpetersäure tauchte. Diese Säure befand sich in einer minutiösen Thonbüchse von  $\frac{1}{2}$  Loth Inhalt, mit einem Zinkreif umgeben. Die kräftige Einwirkung auf die in geringer Entfernung schwingenden Anker war der Grund, dass das Rad sogar eine kleine Hemmung gern ertrug, was früher, sogar bei größeren Modellen, nicht der Fall war. Vor Kurzem überzeugte ich mich an einer neuen ähnlichen Maschine, bei welcher ich etwas größere Magnete und ein eisernes Rad von 15 Zoll Durchmesser verwenden wollte, dass eine Abänderung in der Oscillationsbewegung des Ankers, welche ich glaube empfehlen zu dürfen, den Kraftgewinn nicht unerheblich steigert. Ich verzichtete nämlich auf die Trennung des Ankers vom Magneten gänzlich, und benutzte nur diejenige Kraft, mit welcher der Magnet einen schief auf seine Pole aufgesetzten Anker gerade zu richten strebt, so, dass die anfängliche Kantenberührung am Ende in den vollständigen Contact der plangeschliffenen Anker-

fläche mit dem Magnetpol übergeht, wobei nun jeder Querschnitt des Ankers gleichzeitig eine Winkelbewegung vollführt, die eine gute Hubhöhe mit viel größerer Gleichmäßigkeit der Kraft zuläfst, als wenn der Anker getrennt und aus der Entfernung angezogen worden wäre. Dafs die hierbei geäußerte Kraft nicht gering ist, wird man bei irgend einem elektromagnetischen Experiment mit guten Magneten wohl wahrgenommen haben. Die Maschine wirkte mit zwei Magneten, jeder Schenkel  $4\frac{1}{2}$  Zoll lang und 1 Zoll dick. Der Kupferdraht auf den vier Rollen befindlich,  $1\frac{1}{2}$  mm stark, wog insgesamt  $4\frac{5}{8}$  Pfd. Die Magnete wirkten alternierend, die Anker waren aber so mit einander verbunden, dafs die Bewegung des einen gleichzeitig die des anderen bewirkte. Zu diesem Ende sind in der Mitte der untern Fläche Eisenstäbe eingeschraubt worden, die demnach in den Zwischenraum der Schenkel der Magnete hinabreichen, und dort an ihren Enden durch einen Querstab mit einander, aber durch Charniere verbunden sind. Der eine Anker trug auch oberhalb einen Stab, an dessen Endpunkt, wie bei dem vorher beschriebenen Modell, die Treibstange befestigt war. Die Länge des vorher erwähnten Querstabs mußte nun so seyn, dafs wenn der eine der Anker vertical stand, der andere dagegen seine schiefste Stellung einnahm. Die galvanische Kette bestand aus zwei Elementen von kleiner Form, aus Zink und Eisen gebildet, welche seit einigen Jahren wegen ihrer Brauchbarkeit und Billigkeit den Platinketten fast immer vorgezogen wird. Die Eisenstücke sind ohne ihre zu den Contactschrauben bestimmten Ansätze 3 Zoll hoch, und zeigen auf ihrem Querschnitt die Form eines vierzackigen Sterns ohne scharfe Ecken. Die wirkende Oberfläche beträgt etwa 14 Quadratzoll. Die vorläufig bei der geringen Stromkraft taxirte Kraftleistung dieses kleinen Apparates  $\approx 0,03$  einer Pferdekraft, erscheint mir als nicht ungünstig, weshalb ich den Versuch bei vermehrter Stromstärke wiederholen will.

Ich glaubte anfänglich, es möchte die Kraftleistung der Maschine dadurch etwas geschwächt werden, dafs der bis

zur vollkommenen Flächenberührung gelangte und nach Unterbrechung des galvanischen Stroms vielleicht noch durch den remanenten Magnetismus des Eisens festgehaltene Anker, sich von dem Pol lostrennen soll, und das Schwungrad also die Kraft hergeben müßte, um diesen Widerstand zu überwinden. Deshalb wollte ich die Magnete noch mit einer zweiten aus wenigen Windungen bestehenden Spirale versehen, und durch diese permanent einen schwachen Strom in solcher Richtung leiten, daß dadurch eine geringe aber entgegengesetzte Magnetisirung entstände. Letztere würde sich in dem Augenblick geltend machen, wo der Commutator den Hauptstrom unterbricht; der remanente Magnetismus würde verhindert, ohne daß von dem schwachen permanenten Strom Nachtheil entstände. Diese Vorsicht war indessen unnöthig, es sind ohnehin durch die Construction des Apparats Bedingungen erfüllt, die jenes Residuum magnetischer Kraft von selbst schwächen.

Was die hin und hergehende Bewegung an sich betrifft, die aus mechanischen Gründen einer rotirenden nachsteht, so wird sie in vorliegendem Fall um so weniger nachtheilig, weil das mechanische Moment der Anker, als Product zweier hier sehr kleinen Factoren, unbedeutend ist, die Last der Anker bei dieser Construction ohnehin unterstützt, also nur das Beharrungsvermögen seines obern oscillirenden Theils übrig bleibt.

Die Ankerbewegung ist ferner in dem Moment der Trennung verlangsamt, da sie genau im Verhältniß der Sinus der Winkel geschieht, welche der Krummzapfen während seiner Drehung mit der Treibstange bildet.

Wie die Pol- und Ankerflächen beschaffen seyn müssen, um den besten Erfolg zu liefern, dieß muß durch Versuche ermittelt werden; übrigens glaube ich, daß die Vervollkommnung der elektromagnetischen Maschinen eine Aufgabe ist, zu deren Lösung die Mechanik nur dann wesentlich beitragen wird, wenn ihre Principien mit steter Berücksichtigung der Wirkungsweise der elektromagnetischen Kraft angewandt werden. Noch ist das Aequivalent der

Stromstärke, wenn man den Magnetismus des Schließungsdrahtes als ein solches betrachtet, noch nicht bestimmt worden. Wird der Widerstand dieses Drahts in dem Maasse verringert, als man seine Länge vergrößert, so wird jeder Theil desselben eine eben so starke magnetische Erregung als zuvor erfahren.

Ich erinnere mich, daß Hr. Poggendorff, gestützt auf die Zuverlässigkeit der Ohm'schen Theorie, schon vor Jahren auf diesen Satz verwies, und es den Erbauern elektromagnetischer Maschinen vorwarf, in ihrer Praxis bisher darauf nicht genug Rücksicht genommen zu haben. Abgesehen hiervon dürften, von physikalischer Seite, auch noch andere Fragen in Bezug auf diesen Gegenstand zu entscheiden seyn.

Die günstigen Bedingungen in dem von mir beschriebenen Modell scheinen mir darin zu liegen, daß die Kraft gleichmäßiger, und ihr mittlerer Werth innerhalb einer Hubhöhe größer ist; sie wirkt auf den Krummzapfen zu einer Zeit, wo derselbe sich in einer vortheilhafteren Winkelstellung befindet.

Die Magnete, deren Kraft bekanntlich durch eine zwischen Pole und Anker gebrachte Trennung von einem einzigen Blatt Papier über die Hälfte verringert wird, wirken besser. Ein früherer Versuch des Hrn. Magnus zeigte bereits, wie die Reaction des die Pole eines Elektromagneten schließenden Ankers die Kraft der vorher ungeschlossenen Pole steigert. Die Inductionsströme sind nicht störend, da diess nur bei sehr raschen Bewegungen solcher Maschinen der Fall seyn kann; ferner dürfte die Einfachheit der Construction, die ich in größerem Maasse zu machen, und deren Erfolg nebst anderen Mittheilungen über einige sonstige elektromagnetische Vorrichtungen zu veröffentlichen gedenke, eine Empfehlung für dieselbe seyn.

**Zusatz.** Nachdem ich Vorstehendes der Redaction dieser Zeitschrift übergeben, gelangte ich zur Kenntniß einer in diesen Annalen enthaltenen Untersuchung des Hrn. Poggendorff, deren Resultate derselbe unter der

Ueberschrift: »Ueber die Erscheinungen bei geschlossenen Elektromagneten« im 1sten Stück 1852 Bd. 85 bekannt gemacht hat.

Der Inhalt dieser Mittheilung darf allen denen als ein Leitfaden dienen, welche eine erweiterte practische Anwendung des Elektromagnetismus erstreben, und es war mir erfreulich, dafs hierdurch zugleich mein Versuch seine volle Rechtfertigung findet.

#### XIV. *Bemerkungen in Beziehung auf die Temperaturverhältnisse des Peissenberges; von Herm. Schlagintweit.*

Gesetzt der Radius der Erde würde um ein Tausendstel vergrößert, ohne dafs dadurch an der Oberfläche weder die Gestalt der Meere und Continent noch die gegenseitigen Höhenverhältnisse einzelner Theile verändert würden, so hätte eine solche Vergrößerung des Radius auf die Temperatur der Luft gewifs ungemein wenig Einfluß. Und doch wäre dadurch die Oberfläche der Erde in eine Entfernung vom Mittelpunkte (d. h. in eine Höhe) versetzt, die jetzt Berge von 19,000 bis 20,000 Fufs einnehmen.

Die Luft in der Nähe hoher Gipfel ist deswegen kalt, weil sie von der allgemeinen Oberfläche der Erde, der vorzüglichsten Quelle für atmosphärische Wärme, entfernt ist. Auf den Gipfeln selbst kann die Besonnung nur auf eine *kleine Oberfläche* wirken, zugleich wird ihnen die Wärme der Erde weniger zugeleitet. Die geringe Menge der Luft, welche also hier in Berührung mit dem Boden erwärmt wird, verschwindet fast spurlos in der ungleich größern Masse der kalten Luft, welche solche Gipfel umgiebt.

Es vereinen sich mit dem Einflusse der insolirten Ober-

fläche noch viele andere, verschiedenartige Ursachen, welche die unteren Schichten der Atmosphäre erwärmen, die oberen erkalten. Aber in Beziehung auf die Gröfse ihres Einflusses ist die Wirkung der Besonnung auf eine Oberfläche festen Gesteines bei weitem die wichtigste.

Tritt nun, wie es an ausgedehnten Theilen der Erde wirklich der Fall ist, eine partielle aber weit verbreitete Erhöhung der Oberfläche ein, so muß an so gestalteten Stellen die Luft weit mehr erwärmt werden, als in der Nähe isolirter Gipfel von gleicher Höhe.

Eine partielle Erhöhung der Erdoberfläche findet im Allgemeinen entweder in der Form von Plateaux oder von Gebirgen statt; weit seltener treten ganz einzeln stehende Berge auf. Hr. v. Humboldt hat bekanntlich zuerst die Wichtigkeit der Plateaux für die elementaren Verhältnisse nachgewiesen, indem er die großen Temperaturverschiedenheiten zwischen dem Rande und den centralen Theilen von Quito entdeckte.

Auch für große Gebirge, obwohl sie, von Thälern mannigfach durchschnitten, *weniger* fähig sind sich zu erwärmen als *ununterbrochene* Plateaux, findet, wie ich glaube, etwas ganz Aehnliches statt.

Mein Bruder und ich haben früher versucht, diese Verhältnisse für die einzelnen Theile der Alpen aus der Gestalt der Isothermen und der Höhe der Pflanzengränzen näher zu bestimmen. Es sey mir erlaubt an unsere früheren Untersuchungen einige Betrachtungen anzuknüpfen, die sich speciell auf die Temperaturverhältnisse des Peißenberges beziehen. — Ich benutzte dabei die Angaben, welche in den »Beobachtungen des Observatoriums auf dem Hohenpeißenberge, herausgegeben von Lamont« enthalten sind. Hr. Lamont hat in diesem interessanten Werke die Beobachtungsreihen von 1793 bis 1850 zusammengestellt und zugleich die Correctionen der dabei gebrauchten Instrumente sorgfältig untersucht.

Das Verhältniß zwischen der mittleren Temperatur des Peißenberges und jener von München hat Lamont neuerdings

dings in dem Jahresberichte der Münchener Sternwarte für 1852 festgestellt. S. 66. Da für die einzelnen Monate eine entsprechende Reducirung der beiden Beobachtungsreihen noch nicht ausgeführt wurde, gebe ich im Folgenden die Monatsmittel für den Peißenberg ungeändert, jene für München sind Dove's Temperaturtafeln S. 178/179 entlehnt. Der Unterschied der nicht corrigirten Mittel ist jenem der corrigirten ohnehin nahe gleich.

Die mittlere Temperatur des Peißenberges ist . . . . .  $4,68^{\circ} \text{R.} = 5,85^{\circ} \text{C.}$   
(mit Berücksichtigung der Correction des Thermometers und der Reduction wegen der Beobachtungsstunden.)

Reducirt auf die Breite von München, ein Breitengrad  $= 0,55^{\circ} \text{C.}$ , Unterschied der Breite  $0^{\circ} 21'$  . . . . .  $5,67^{\circ} \text{C.}$

Die mittlere Temperatur der Sternwarte Bogenhausen . . . . .  $5,85^{\circ} \text{R.} = 7,31^{\circ} \text{C.}$   
Der Höhenunterschied zwischen München und dem Peißenberge ist . . . . . 1420 P.F.  
dabei wurde angenommen:

Peißenberg:	Höhe des Kirchenpflasters	3005 P.F.
	Höhe der Instrumente über demselben	18 P.F.
		<hr/> 3023 P.F.

München:	Pflaster der Frauenkirche	1569 P.F.
	Sternwarte über der Frauenkirche	34 P.F.
		<hr/> 1603 P.F.

Es findet demnach eine Temperaturabnahme für  $1^{\circ} \text{C.}$  erst statt bei einem Höhenunterschiede von . . . . . 900 P.F.

Für das Gebiet der Alpen kann man die mittlere Erhebung für  $1^{\circ} \text{C.}$  Temperaturabnahme  $= 540 \text{ P.F.}$  annehmen; eine Zahl, die nicht nur auf sehr verschiedenartigen

Beobachtungsreihen beruht, sondern zugleich auf solchen, die unter sich verhältnißmäßig nur wenig abweichen.

Die Temperaturabnahme zwischen München und dem Peißenberge ist also bei weitem langsamer als im Alpengebiete im Allgemeinen; die Temperatur des Peißenberges ist um  $1^{\circ}$  C. wärmer als die normale Wärme eines Punktes von gleicher Höhe <sup>1)</sup>).

Als die vorzüglichste Ursache dieses geringen Temperaturunterschiedes ist die Bodengestaltung zu nennen. Der Peißenberg ist einer von jenen nebelfreien Hügeln, die sich nur mit sehr flachen Abhängen über die Hochebene am nördlichen Rande der Alpen erheben. Verbindet man nach verschiedenen Seiten hin den Gipfel mit dem Fuße des Berges, so werden diese Linien meist nur 5 bis  $6^{\circ}$  geneigt; nach Norden und Westen ist das Terrain sogar noch weit flacher; gegen Pisting z. B. beträgt die Neigung nur  $2\frac{1}{3}^{\circ}$ ; nur der oberste Gipfel des Berges, ein kleiner Kegel von sehr geringer relativer Höhe, hat steilere Neigungen.

Die Monatsmittel am Peißenberge und in München sind folgende:

Monat.	Peißenberg <sup>2)</sup> .	München.	Mittlere Erhebung für $10^{\circ}$ C. Abnahme in den Alpen.
Januar	— $2,1^{\circ}$ C.	— $3,3^{\circ}$ C.	710 P. F.
Februar	— 0,8	— 0,7	600
März	1,4	3,9	560
April	6,1	8,2	520
Mai	11,0	12,0	460
Juni	13,4	15,0	450
Juli	15,3	17,3	436
August	15,0	16,4	440
September	11,8	13,6	480
October	7,5	8,7	600
November	2,4	2,4	620
December	— 0,6	+ 0,2	710
Jahr (ohne Correction)	6,65	7,8	

1) Erst eine um nahe 2 Breitengrade südlichere Lage würde z. B. den gleichen Unterschied hervorbringen.

2) Ohne Reduction auf die Breite von München.



Es ergibt sich daraus, daß in allen Monaten die Temperaturabnahme weit langsamer ist, als jene Werthe, welche wir bei unseren früheren Untersuchungen für die Alpen im Allgemeinen erhielten; diese sind zur Vergleichung in der letzten Spalte beigefügt.

Es ist im Juli und August für die Alpen die Abnahme von 1° C. von einer Höhendifferenz von 440 Fufs bedingt; zwischen München und dem Peißenberge beträgt aber diese Höhendifferenz für den Juli 700, für den August noch bedeutend mehr.

Wenn man die Wintermonate vergleicht, zeigt sich eine noch größere Unregelmäßigkeit. Der kälteste Monat, der Januar, ist am Peißenberge bedeutend *wärmer* als in München.

Auch diese Unregelmäßigkeit ist wesentlich von der Bodengestaltung abhängig.

Die Wintertemperatur eines hoch gelegenen Punktes, der sich *nicht* in einem Thalkessel befindet, ist stets etwas gemildert, verglichen mit einem Punkte, der sich in gleicher Höhe auf einer gleichmäßigen Ebene befindet. Jene Luftschichten, welche unmittelbar in der Nähe des Bodens durch Strahlung desselben erkältet werden, können von Abhängen nach unten abfließen, und werden dann durch Luftschichten ersetzt, die noch nicht in Berührung mit dem ausstrahlenden Boden erkältet waren, also etwas wärmer sind.

Ist der Höhenunterschied zwischen zwei Beobachtungsstationen groß, so wird eine Temperaturabnahme mit der Höhe noch immer stattfinden, nur ist sie langsamer. Die 1° C. entsprechende Höhendifferenz für die Alpen kann im Januar und December etwas über 700 angenommen werden.

Ist aber der Höhenunterschied nicht sehr groß, und der höhere Punkt überdies so gestaltet, daß die kalte Luft allseitig abfließen kann, so wird, wie viele Beispiele aus den Alpen es zeigen, die Wintertemperatur am höheren Punkte weniger kalt seyn als am tieferen <sup>1)</sup>.

1) Vergl. die interessanten Beobachtungen von Dove (Bericht des me-

Auch die absoluten Extreme einzelner Tage zeigen dasselbe Phänomen; hier werden die Unterschiede sogar noch größer.

Der kälteste Tag der ganzen Beobachtungsreihe am Peißenberge war (10. Jan. 1820) —  $25,2^{\circ}$  C., während in München die größte bis jetzt beobachtete Kälte (2. Febr. 1830) —  $30,1^{\circ}$  C. betrug <sup>1)</sup>. Der größte Wärmeunterschied zwischen München und dem Peißenberge findet im Mai statt, er beträgt  $2,5^{\circ}$  C. und wird wohl theilweise dadurch hervorgebracht, daß zu dieser Zeit am Peißenberge das Schmelzen des Schnees eintritt, und so eine merkliche Wärmemenge latent wird, während in München die Schneedecke zum großen Theile schon früher verschwindet.

## XV. *Der goldene Fisch.*

Unter diesem Namen hat Franklin (*Exper. observ.* 70) einen Versuch an dem Conductor einer Elektrisirmaschine beschrieben, der uns jetzt, an dem Knopfe einer Leydener Flasche ausgeführt, aufs Neue vorgebracht wird (d. Annal. Bd. 88, S. 493). Nur daß Franklin die Bedingungen des Versuchs sogleich auf das Klarste erkannt, und die Erklärung desselben an die Hand gegeben hat. Ein Goldblattstreifen, an seinen Enden *verschieden* zugespitzt und mit dem stumpferen Ende dem Conductor genähert, fliegt darauf zu, und bleibt in einiger Entfernung daran schweben, weil der an der stumpferen Spitze erzeugte elektrische Wind den Streifen zurücktreibt, während der an der

teorol. Institutes Berl. 1851, p. XIV) über ähnliche Verhältnisse, welche sich an einzelnen kalten Tagen am Brocken und im Riesengebirge zeigten.

- 1) Ich verdanke diese Angabe einer persönlichen Mittheilung des Hrn. Director Lamont.

schärferen Spitze auftretende Wind und die elektrische Anziehung ihn auf den Conductor zutreibt. Eine an der Seite des Streifens befindliche Spitze muß die Axendrehung des Streifens zur Folge haben (Wilke Briefe 270). Man kann diese Wirkung der, einem elektrisirten Körper zugewandten, und der von ihm abgewandten Spitze an einer horizontal aufgehängten Nähnadel mit abgebrochenem Oehre sehen, welcher man den Knopf einer geladenen Flasche behutsam nähert. Die Spitze wird in einer gewissen Entfernung von dem Knopfe heftig abgestoßen, das stumpfe Ende angezogen. Wichtig für die Elektricitätslehre ist allein die Rückwirkung des elektrischen Windes auf die ihn erzeugende Spitze, die einfach und klar an dem Spitzenrade gezeigt wird, das mit Recht seit 1760 den goldenen Fisch verdrängt hat. Riefs.

## XVI. Ueber die Stokes'schen Phänomene.

(Aus einem Briefe des Hrn. Prof. Moser an den Herausgeber.)

Königsberg 25. März 1853.

— In diesen Tagen habe ich die merkwürdigen Versuche von Stokes (Ihre Annalen Bd. 87, S. 480) wiederholt und bestätigt gefunden. In einer gut verfinsterten Stube wurde das Spectrum der Sonne wie gewöhnlich gebildet und mittelst eines Stahlspiegels auf die freie Oberfläche der Flüssigkeit (eines kalten Aufgusses von Rofskastanienrinde oder Auflösung von schwefelsaurem Chinin) geworfen. Der Raum jenseits *H*, der für gewöhnlich nicht sichtbar ist, erschien in einem milchweißen Lichte, unterbrochen von den Fraunhofer'schen Linien, an denen dieser Theil des Spectrums so reich ist, und welche mir von Versuchen mit jodirten Silberplatten her bekannt sind. Dieses milchweiße Licht erstreckte sich bis nahe zwei Zoll über die Doppellinie *H* hinaus.

Die Erklärung, an welche man zuerst denken könnte, daß die Erscheinung eine phosphorische sey, wird durch meine Versuche nicht bestätigt. Verdunkelt man nämlich das Zimmer ganz, oder verdeckt man den Spiegel, so hört die Erscheinung sogleich auf. Sie dauert also nicht länger als ihre Ursache. Bewegt man die Flüssigkeit an der Oberfläche, so bleibt die Zeichnung der dunklen Linien scharf. Um mit einem intensiveren Licht zu versuchen, wurde die Sonnen-beleuchtete Spalte mittelst einer Linse auf der Oberfläche der Flüssigkeit abgebildet; bei dem Verdecken des Lichts wurde auch hier keine zurückbleibende Wirkung wahrgenommen. Endlich wurde die Flüssigkeit anhaltend den directen Sonnenstrahlen ausgesetzt; der nachherige Versuch mit dem Spectrum im Dunklen zeigte jedoch hierbei keinerlei Aenderung.

---

*XVII. Erklärung der Verstärkung, die das durch einen galvanischen Funken verursachte Geräusch erleidet, wenn der Strom unter gewissen Umständen unterbrochen wird; von P. L. Rijke.*

(Mitgetheilt vom Hrn. Verf. aus dem *Allgemeinen Konst-en Letterbode*, No. 11, 1853.)

---

Im *Philosophical Magazine*, Ser. IV, Vol. 1, p. 170 findet man einen Auszug aus Silliman's *American Journal*, worin eine sehr merkwürdige Erscheinung beschrieben wird, die Page mit seinem riesenhaften elektro-magnetischen Apparat zuerst wahrgenommen hat. Sie besteht darin, daß, wenn man den galvanischen Strom, der einen Elektromagnet zur Wirksamkeit bringt, unterbricht, es zur Hervorbringung des Funkens nicht gleichgültig ist, wo man die Unterbrechung bewerkstelligt. Je näher an den Polen man den Funken hervorbringt, desto stärker wird das den Funken begleitende Geräusch, so daß Page, als er die Unterbrechung so dicht wie möglich an den Polen vornahm, mit

seinem Apparat ein Knall bekam, so stark wie von einem Pistolenschuß. Zugleich sah er den Funken kürzer und breiter werden, zuweilen so breit wie die Hand.

Eine Erklärung der Erscheinung ist von Page nicht gegeben worden, und da die Naturforscher, welche eine solche aufgesucht, meines Wissens noch keine gefunden haben, so nehme ich mir die Freiheit mitzutheilen, was meine Untersuchung mich gelehrt hat.

Ich begann damit, den Versuch von Page mit dem mir zu Gebote stehenden Apparat zu wiederholen; dieser kann zwar bei weitem nicht mit dem seinigen verglichen werden und hat mir daher auch nicht einen so auffallenden Erfolg geliefert, wie der Amerikanische Naturforscher erwähnt, ist aber doch hinreichend gewesen, das, worauf es vornehmlich ankommt, wahrzunehmen.

Der von mir gebrauchte Elektromagnet ist derselbe, der mir zu Versuchen über den Diamagnetismus dient. Er ist nach der Methode von Ruhmkorff eingerichtet <sup>1)</sup>, und zwar solchergestalt, daß man nach Belieben einen Elektromagnet mit kurzem oder mit langem Draht herstellen kann. Die beiden horizontalen Eisencylinder, 0<sup>m</sup>,175 lang und 0<sup>m</sup>,056 breit, versehen mit kegelförmigen Enden, sind in Holzcylinder von 0<sup>m</sup>,158 Länge geschoben. Um jeden Holzcylinder sind drei Kupferdrähte von 3<sup>mm</sup> Durchmesser gewickelt und gehörig isolirt. Jeder Draht bildet zwei Lagen. Läßt man den galvanischen hintereinander durch alle Drähte gehen, so hat man die Combination A; um die Combination B zu erhalten, muß man die Drähte eines jeden Cylinders zu einem einzigen vereinigen; endlich kann man den galvanischen Strom, ehe er in das Gewinde tritt, in zwei Theile theilen, und jede Hälfte bloß durch ein Gewinde gehen lassen; dieß giebt mit A die Combination C, und mit B die Combination D.

Zur Hervorbringung des galvanischen Stroms gebrauchte ich drei Grove'sche Batterien, jede von zehn Elementen. Bei der Combination A waren die Batterien zu einer ein-

1) Pouillet, *Elémens de Physique*, 6<sup>me</sup> edit. Vol. I. p. 735.

zigen von 30 Elementen vereinigt. Konnte ich nur über 20 Elemente verfügen, so vereinigte ich sie zu 10 Elementen und gebrauchte dann die Combination *D*. Die Combination *B* diente, sobald mir nur *eine* Grove'sche Batterie zu Dienste stand.

Mit der Combination *A* habe ich den stärksten Erfolg bekommen. Das Schliessen der Kette geschah durch Aufeinanderlegen zweier Kupferdrähte, das Oeffnen durch Voneinandernehmen derselben und zwar so schnelles wie möglich. Ich habe hiermit denselben Effect wie Page bekommen, doch mit dem Unterschied, dafs das stärkste Geräusch bei mir nur verglichen werden kann mit einem Peitschenknall, oder besser, mit dem bei Entladung einer grofsen Leidener Flasche. Das Kürzer- und Breiterwerden des Funkens habe ich nicht wahrnehmen können; nur habe ich gesehen, dafs der Funke mehr Intensität bekam, leuchtender ward. Es hat mir auch geschienen, dafs der Funke und das Geräusch desto stärker werden, je mehr man die kegelförmigen Enden der Eisencylinder zusammenschiebt. Ueberdies habe ich bei dieser Erscheinung bemerkt, dafs die physiologische Wirkung, deren Page nicht gedenkt, mit der Verstärkung des Geräusches gleichen Schritt hält. Diese letzte Wahrnehmung hat viel dazu beigetragen, mich die Ursache der Erscheinung auffinden zu lassen.

Der Funke, den man bei dieser Gelegenheit wahrnimmt, besteht grofsentheils aus demjenigen des Faraday'schen Extrastroms, und alles was die Intensität dieses Stroms befördert, erhöht auch die Kraft des Funkens. Der Extrastrom nun, der bei diesen Versuchen hervorgebracht wird, besteht: 1) aus dem Strom, der inducirt wird durch das Aufhören des primären Stroms in dem Draht, 2) aus dem Strom, der inducirt wird durch das Aufhören des magnetischen Zustandes in dem Eisen. Ich sagte, dafs der wahrgenommene Funke zu grofsem Theile dem Extrastrom zugeschrieben werden müsse; der andere Theil ist derjenige Funke, den man beim Unterbrechen eines durch einen kurzen Leiter gehenden Stromes bekommt. Dieser Funke

kann nun, wie Jeder weiß, nicht dem gewöhnlichen elektrischen Funken gleichgestellt werden, aber wohl dem Davy'schen Lichtbogen. Wenn man mit den Polen einer galvanischen Batterie zwei kurze Kupferdrähte verbindet, und sie, nachdem sie in Berührung gesetzt worden, wieder von einander trennt, so muß der alsdann entstehende Funke, wenigstens größtentheils, dem glühenden Uebergang der zuletzt in gegenseitiger Berührung gewesenen Moleküle von dem einen Draht zu dem andern zugeschrieben werden. Man hat es sonach mit einem Davy'schen Lichtbogen zu thun, der aus glühendem Kupfer besteht, und dessen Länge von der Intensität des Stromes abhängt. Unter den gegebenen Umständen dauert dieser Bogen nicht lange, aber doch einige Zeit, und desto länger, je größer die Stromstärke ist und je langsamer die Drähte von einander entfernt worden sind. Man kann also nicht sagen, daß der Strom, wenn man ihn auf gewöhnliche Weise unterbricht, plötzlich aufhöre. Er dauert so lange wie der Bogen, ob schon seine Intensität abnimmt nach Maafsen der Bogen länger wird, oder mit anderen Worten, nach Maafsen die Enden der Kupferdrähte weiter von einander kommen. Ob schon auf dem Gebiete der inducirten Ströme noch Vieles eine nähere Untersuchung erheischt, so wird doch kein Physiker verkennen, daß die Intensität oder, wenn man lieber will, die elektro-motorische Kraft der beiden hier von uns betrachteten inducirten Ströme von der Art der Unterbrechung des primären Stromes abhängt und sie größer wird, wenn man den primären Strom schneller vernichtet, daß alsdann der durch diese beiden Ströme hervorgebrachte Funke an Stärke zunimmt und mehr mit dem Funken einer Leidener Flasche übereinkommt. Deshalb mag man die Erscheinung als erklärt betrachten, wenn nachgewiesen worden, daß bei dem Versuch von Page die Vernichtung des primären Stroms viel schneller als gewöhnlich geschieht, oder, was auf dasselbe hinausläuft, daß der Davy'sche Bogen auf einer viel kürzeren Strecke vorhanden ist.

Um zu zeigen, daß der Bogen schneller aufhören muß,

wenn die Unterbrechung dichter an den Polen des Elektromagnets geschieht, brauche ich nur auf die neuerlichen Beobachtungen von Quet zu verweisen oder lieber auf die allgemein bekannten Versuche von Davy, die bewiesen haben, dass der Bogen als ein beweglicher galvanischer Strom angesehen werden kann. Ist der Bogen, um den einfachsten Fall zu betrachten, rechtwinklich auf der Mitte der Axiallinie, dann müssen die Stofftheilchen, woraus er besteht, in einer winkelrechten Richtung abgestoßen werden. Die Intensität dieser Kraft kann groß genug seyn, um die Theilchen so weit von einander zu entfernen, dass sie den andern Pol nicht mehr erreichen können. Es bedarf keines Beweises, dass dann der Strom rasch aufhören muss; jedenfalls wird der folgende Versuch alle Zweifel heben.

Eine elektrische Lampe von Soleil und ein Elektromagnet wurden so aufgestellt, dass die beiden Kohlenstücke winkelrecht gegen die Mitte der Axiallinie standen. Während der Elektromagnet noch nicht in Wirkung war, liefs ich durch die einander berührende Kohlen den Strom einer Grove'schen Batterie von 30 Elementen gehen. Die Kohlenspitzen brannten schnell ab, ihr Abstand ward dadurch immer größer und größer, und so bekam ich bald den Davy'schen Bogen. Gleich darauf wurde der Elektromagnet (Combination B) mit 10 Bunsen'schen Elementen in Thätigkeit gesetzt, und nun sah man den Bogen in der Quere abweichen, beinahe in der Richtung, die ein beweglicher verticaler Strom unter der Wirkung der beiden Pole annehmen würde. Hatte man die Eisencylinder nahe aneinander gebracht, so wurden die Stofftheilchen des Bogens schnell so kräftig abgestoßen, dass sie die andere Kohlenspitze nicht mehr erreichen konnten, und dann hörte der Strom auf. Nun wurden die Kohlenspitzen einander näher gebracht <sup>1)</sup>; dadurch war der Strom wieder hergestellt,

1) Gewöhnlich setzen sich die Kohlenspitzen in Bewegung, sobald die Intensität des Stroms bis auf einen gewissen Punkt geschwächt ist. Allein eine Feder, die man nach Willkühr spannen kann, setzt den Beob-



die Kohlenspitzen brannten abermals ab, es bildete sich der Davy'sche Bogen und man sah dieselbe Erscheinung auftreten. Je nachdem die kegelförmigen Enden der Eisen-cylinder näher aneinander gebracht worden, war der Abstand, in welchem die Kohlenspitzen bleiben konnten, kleiner. Hatte man die Pole einander auf 5 bis 10<sup>mm</sup> Abstand einander genähert, so liefs sich gar kein Bogen mehr hervorbringen; die Kohlenspitzen blieben stets mit einander in Berührung. Ich glaube, dafs dieser Versuch hinlänglich ist zum Beweise, dafs ein Elektromagnet, wenn er Kraft genug hat, die Entstehung des Bogens unmöglich machen kann.

Es leuchtet ein, dafs, falls meine Erklärung richtig ist, die elektro-motorische Kraft eines jeden Extrastroms verstärkt werden mufs, sobald die Unterbrechung des primären Stroms in der Nähe der Pole eines Elektromagnets stattfindet. Die Erfahrung hat mich gelehrt, dafs solches in der That der Fall ist. Zu dieser Untersuchung habe ich eine sogenannte platte Spirale gebraucht. Das Werkzeug, dessen ich mich bedient habe, aus der Sammlung des Staatsrath Nairac herstammend, besteht aus einem Kupferstreifen von 415 Rheinl. Fufs Länge, 1 Rheinl. Zoll Breite und ungefähr 0<sup>mm</sup>,3 Dicke. Die Zahl seiner Windungen beträgt 170. Ich habe dabei 4 Bunsen'sche Elemente gebraucht und wahrgenommen dafs, wenn die Unterbrechung zwischen den Polen des Elektromagnets geschieht, nicht allein die physiologische Wirkung stärker wird, sondern auch die Intensität des Funken wächst und ein eigenthümliches stärkeres Geräusch entsteht. Durch das Gewinde des Elektromagnets ging der Strom von 30 Grove'schen Elementen.

Meine Erklärung bringt noch mit sich, dafs nicht allein der Extrastrom, sondern jeder inducirte Strom verstärkt werden mufs, sobald der primäre Strom in der Nähe der Pole eines starken Elektromagnets unterbrochen wird. Ich

achte in den Stand, die Lampe so zu stellen, dafs die Kohlenspitzen sich nur in Bewegung setzen, wenn der Strom aufhört.

habe dies mittelst eines von Ruhmkorff verfertigten Werkzeugs bestätigt gefunden. Dies besteht aus zwei übereinander geschobenen Gewinden <sup>1)</sup>. Das innere enthält 300 Windungen Kupferdraht von 2<sup>mm</sup> Durchmesser, das äußere dagegen 8000 Windungen Kupferdraht von 0<sup>mm</sup>,333 Durchmesser. In dem inneren Gewinde befindet sich ein cylindrisches Bündel von beinahe einander gleichen Eisendrähten. Wenn man durch den ersten Draht den Strom eines Bunsen'schen Elements gehen läßt und ihn unterbricht, springt bei meiner Vorrichtung zwischen den beiden Enden des dünnen Drahts noch ein Funke über, sobald sie einen Abstand von 2<sup>mm</sup> besitzen. Moigno sagt, daß der Funke noch bei einem Abstand von 5<sup>mm</sup> überspringe, doch ist mir dies zu sehen nicht geglückt. Sobald aber der Strom zwischen den Polen des Elektromagnets unterbrochen wird, habe ich den Funken des inducirten Stroms bei einem Abstand von 7<sup>mm</sup>,7 überspringen gesehen. Später habe ich den primären Strom verstärkt, indem ich statt eines Bunsen'schen Elements deren zwei gebrauchte. Dann sah ich den Funken einen Abstand von 13<sup>mm</sup>,1 überspringen. Diese Funken sind sicherlich die längsten, die jemals mittelst zweier Bunsen'schen Elemente hervorgebracht wurden. Bei diesen Versuchen hatten die Pole des Elektromagnets einen Abstand von 3<sup>mm</sup> und die magnetische Kraft wurde durch 30 Grove'sche Elemente erregt.

Die Holländische Gesellschaft der Wissenschaften hat die Erklärung dieser Erscheinung als Preisfrage aufgegeben. Sie meinte, wie viele ausgezeichnete Physiker, namentlich Pouillet, daß man es mit einer ganz neuen Klasse von Erscheinungen zu thun habe. Wäre solches der Fall gewesen, ich würde die Erklärung sicherlich der berühmten Stiftung übersandt haben.

Leiden, 1. März 1853.

1) *Cosmos. Revue encyclopédique redigée par Mr. l'abbé Moigno, p. 261.*

XVIII. *Ueber die Inductions-Elektrismaschinen und ein leichtes Mittel zur Erhöhung ihrer Wirk- samkeit; von Hrn. Fizeau.*

(*Compt. rend. T. XXXVI. p. 418.*)

Die Elektrismaschinen, die man seit einigen Jahren nach dem Principe der Induction construirt, sind gegenwärtig hinlänglich bekannt. Die Beständigkeit und Regelmäßigkeit ihrer Wirkungen, so wie die Leichtigkeit ihrer Anwendung, bieten für gewisse Untersuchungen Vortheile dar, welche diesen neuen Apparaten unter gewissen Umständen vor den älteren Maschinen den Vorzug geben.

Bei Anstellung neuer Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Elektricität, besonders zu dem Zweck, die Reibungselektricität in dieser Beziehung mit der galvanischen zu vergleichen, fand ich, dafs ein solcher Apparat hierzu sehr geeignet sey, dafs es aber nützlich wäre, wenn man ihn eine gröfsere Kraft geben und besonders die Spannung seiner Elektricität erhöhen könnte.

Eine sehr merkliche Verstärkung des Effects bekommt man, wenn man den Apparat durch eine kräftigere Säule in Thätigkeit setzt, und die an den Polen der Maschine entwickelte Elektricität erlangt dabei eine sehr beträchtliche Erhöhung der Spannung. Allein dies Mittel führt einen Nachtheil mit sich, welcher dem Instrument seinen Hauptvorzug raubt, nämlich die Regelmäßigkeit und die Dauer seiner Wirkungen. Einer der wesentlichen Theile des Instruments ist der federnde Unterbrecher (*interrupteur à vibrations*) des Hrn. De la Rive. Allein bei dem Spiele dieses Instruments entstehen sehr lebhaft elektrische Funken zwischen den Unterbrechungsflächen, und mögen diese auch von Platin seyn, werden sie doch bald geschmolzen und entstaltet, sobald der Strom intensiv ist; die Schwingungen werden weniger constant und die Elektricität hört bald auf, sich mit derselben Regelmäßigkeit zu erzeugen.

Derselbe Uebelstand würde sich ohne Zweifel einstellen, wenn man versuchen würde, der Maschine noch gröfsere Dimensionen zu geben als die, welche der geschickte Mechanikus Ruhmkorff anwendet, denn die Kraft der Funken, die am Punkt, wo die Vibration entsteht, ausbrechen, hängt vorzüglich von dem im Inductionsdraht selbst inducirten Strome ab; und wenn man die Dimension der Drähte und die Zahl der Windungen vermehrte, würde dieser Strom nothwendig intensiver und die Funken stärker.

Allein ein aufmerksames Studium der Eigenthümlichkeiten dieses Apparats läfst bald ein ganz anderes und sehr einfaches Mittel entdecken, um die erzeugten Effecte zu verstärken. Mehre Versuche, die zu beschreiben hier zu lang seyn würde, beweisen, dafs der Inductionsstrom, der sich im Moment der Unterbrechung der Kette in dem inducirenden Drahte selbst erzeugt, einen bedeutenden Einflufs hat auf die Erregung der Elektricität in dem inducirten Draht, welcher in den beiden Polen der Maschine endigt. Wenn dieser Strom sich ungehindert erzeugt und eine grofse Entwicklung nimmt, geben die Pole wenig Elektricität; trifft dieser Strom dagegen Hindernisse und nimmt er nur eine geringe Entwicklung, so geben die Pole viel Elektricität und die Kraft der Maschine ist verstärkt. Verschiedene Einrichtungen erlauben diese Thatsache auf eine sichere Weise festzustellen; ich erwähne nur die Anwendung weniger edler Metalle als Platin zu den Unterbrechungsflächen und die Vereinigung der vibrirenden Theile durch dünne Drähte von verschiedener Länge. Diefs Princip angenommen, folgt daraus, dafs es zur Erhöhung der Kraft der Maschine hinreicht, der Erregung des Stroms, welcher im Moment der Unterbrechung der Kette im inducirenden Draht entsteht, entgegen zu treten, und es ist leicht zu sehen, dafs man dieses erreicht, wenn man auf die Spannung dieses Stromes wirkt und sie schwächer macht.

In der That, das starke Licht der Funken, die am Unterbrechungspunkt ausbrechen, wenn die Maschine in Wirksamkeit ist, zeigt, dafs der besagte Strom eine grofse Ent-

wicklung nimmt, und zwar deshalb, weil die Elektrizität eine hinreichende Spannung hat, um den Zwischenraum, welcher die vibrirenden Theile trennt, mit Leichtigkeit zu überspringen; wenn die Spannung schwächer wird, so findet der Uebergang, da jener Zwischenraum einen constanten Widerstand darbietet, nicht mehr mit derselben Leichtigkeit statt, die Funken werden weniger lebhaft und der Strom nimmt eine schwächere Entwicklung.

Ein sehr wirksames Mittel zur Verringerung der Spannung unter diesen Umständen liefern die bekannten Eigenschaften der Leidener Flasche und der auf demselben Principe beruhenden Apparate. Man nehme also einen Condensator, gebildet aus zwei, nur durch eine Firnißschicht von einander getrennten, Zinnplatten und verbinde jede dieser Platten mit einem der Enden des inducirenden Drahts; die Verknüpfungspunkte müssen dieß- und jenseits des Unterbrechungspunktes liegen, wo die Funken entstehen. Als dann breiten sich die Elektrizitäten, ehe sie zu dem Unterbrechungspunkt gelangen, auf den beiden Zinnflächen aus und verlieren daselbst, vermöge des Einflusses, den sie durch die isolirende Firnißschicht hin auf einander ausüben, einen großen Theil ihrer Spannung.

Wenn der Condensator eine hinreichende Fläche darbietet, z. B. von 5 bis 6 Quadratdecimeter, so sieht man, sogleich wie die Verbindungen gemacht sind, das Licht am Unterbrechungspunkt schwächer werden, und die Maschine sogleich einen merkwürdigen Kraftzuwachs erlangen; die Pole geben dann stärkere Funken, die größere Zwischenräume wie zuvor durchbrechen. Der Condensator kann bequem in horizontaler Lage aufgestellt werden, ein wenig unterhalb des Elektromagnets, getragen von vier Glasfüßen.

Mit diesem leicht herzustellenden Zusatz giebt die Maschine nicht nur mehr Elektrizität, sondern wirkt auch länger mit Regelmäßigkeit, weil die Unterbrechungspunkte nicht mehr der zerstörenden Einwirkung sehr starker Funken ausgesetzt sind.

Eine von Hrn. Sinsteden erdachte Einrichtung, bei wel-

cher das Condensationsprincip benutzt worden ist, um stärkere Entladungen mit den Inductions-Maschinen zu erhalten, hat nur scheinbare Analogie mit der hier angedeuteten. Das Princip und die Effecte beider Methoden sind nämlich sehr verschieden. In der That ist es die in dem zweiten Draht, dem inducirten Draht entwickelte Elektricität, welche von Hrn. Sinsteden so modificirt wird, daß sie hellere Funken giebt; allein diese stärkere Entladungen sind nicht von einer erhöhten Spannung begleitet, vielmehr wird diese geschwächt. Uebrigens schadet die Anwendung dieser Methode keineswegs der Wirksamkeit der von mir vorgeschlagenen, und wenn man es vortheilhaft findet, kann man sie beide zugleich anwenden.

Um eine Idee von der Vergrößerung der Effecte zu geben, die ich bei meinen Versuchen erhielt, will ich folgende Beobachtung mittheilen. Bei Einschaltung eines Galvanometers in die Kette liefs ich die von der Maschine erregte Elektricität durch verdünnte Luft gehen, wo sich die schönen Lichtphänomene erzeugten, die neuerlich von Hrn. Quet studirt worden sind. Als die Maschine unter den gewöhnlichen Umständen functionirte, zeigte die Galvanometernadel eine Ablenkung von 8 Grad. Als ich den Condensator wirken liefs, ward das Licht sehr glänzend und die Ablenkung der Nadel stieg auf 15°. Die Stromstärke war also fast verdoppelt.

Kurz durch das von mir vorgeschlagene Mittel können die Inductionsmaschinen eine größere und längere Zeit constant bleibende Wirksamkeit erlangen, und in beiderlei Hinsicht wird man es ohne Zweifel vortheilhaft finden, das Princip bei Construction neuer Apparate anzuwenden.